



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN KARAKTERISTIK KUAT KERMA dan KONSTANTA LAJU
DOSIS SUMBER Ir-192 mHDR MENGGUNAKAN METODE
MONTE CARLO dan EKSPERIMEN**

SKRIPSI

SITI AISAH

0305020861

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN KARAKTERISTIK KUAT KERMA dan KONSTANTA LAJU
DOSIS SUMBER Ir-192 mHDR MENGGUNAKAN METODE MONTE CARLO
dan EKSPERIMEN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains

Oleh

SITI AISAH

0305020861

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Siti Aisah

NPM : 0305020861

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Siti Aisah
NPM : 0305020861
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Penentuan Karakteristik Kuat Kerma dan Konstanta Laju Dosis Sumber Ir-192 mHDR Menggunakan Metode Monte Carlo dan Eksperimen

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Science pada Program Studi Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dwi Seno Kuncoro, M.Si ()
Pembimbing II : Sugiyantari, M.Si ()
Penguji I : Prof.Dr.Djarwani S S ()
Penguji II : Dr.Musaddiq M ()

Ditetapkan di :

Tanggal : 21 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, segala puji syukur bagi Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, serta sholawat dan salam kepada Rasulullah SAW beserta keluarga. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Heru Prasetio, MSi yang telah memberikan tema, meluangkan waktu, tenaga, pikiran, fasilitas, diskusi dan membimbing serta mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini. "Pak Heru....makasi banyak ya pak, untuk semua yang udah bapak berikan dan untuk ga bosan-bosennya menolong dan mengkoreksi kerjaan icha, maaf banget kalo sering buat bapak nunggu dan mungkin sering buat bapak kesel :-p wah,.....sampe kehabisan kata-kata nih,pak, pokoknya trimakasih banyak ya,pak Heru.. ☺"
2. Dwi Seno K, M.Si dan Sugiyantari, MSi sebagai pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
3. Prof. Dr. Djarwani S Soejoko dan Dr. Mussadiq M, sebagai penguji yang telah memberikan nasehat yang berharga serta membantu mengarahkan penulis.
4. Pihak Batan Pasar Jum'at dan RSUP Persahabatan yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan.
6. Untuk keluargaku tercinta (mama, aba, kak Anna dan keluarga termasuk dua keponakanku Rasyid dan Malik yang lucu-lucu dan kedua adikku Pian dan Sultan walaupun sering ribut dan membuat suasana rumah jadi gaduh) tempat berbagi, yang telah mendo'akanku, memberikan semangat, bantuan material dan moral selama ini.

7. Teman-temanku satu perjuangan Fadli, Rifki, Bondan, Margo, Ira, Koko, dan Dika tempat diskusi, dan berbagi cerita.
8. Teman-teman fisika angkatan '04,'05,'06,'07 khususnya peminatan fisika medis yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan dan tak lupa untuk Fanny Azizi (Alm) yang selama bersama-sama '05 telah banyak membantu penulis serta menjadi inspirasi dalam menyelesaikan skripsi ini (“Selamat jalan, teman..moga engkau selalu berada di tempat terbaik di sisiNya, amiin..). Untuk Nurma, Ira dan teman-teman, “makasi ya buat semangat, dukungan dan bantuannya didetik-detik terakhir menjelang sidang skripsi, “beban-beban itu” terasa hilang untuk sesaat, fiuuuhh....saat itu semua beban dan kekhawatiran jadi satu tapi karena kehadiran kalian, Alhamdulillah keadaan jadi lebih mudah, luv you all, so much...much...much..”
9. Sekretariat departemen fisika untuk semua yang telah dilakukan dalam pelaksanaan perkuliahan sampai terselesaikannya skripsi ini.
10. Seluruh dosen departemen fisika dan diluar departemen fisika yang telah mengajar penulis selama masa perkuliahan.
11. Seluruh staff perpustakaan departemen fisika, perpustakaan fakultas MIPA, dan perpustakaan pusat UI terimakasih atas buku yang pernah penulis pinjam.
12. Terima kasih untuk semua yang tidak bisa disebutkan disini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan melipatgandakan pahala semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat dikembangkan dan disempurnakan serta membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 21 Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Aisah
NPM : 0305020861
Program Studi : Fisika Medis
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENENTUAN KARAKTERISTIK KUAT KERMA dan KONSTANTA LAJU DOSIS
SUMBER Ir-192 mHDR MENGGUNAKAN METODE
MONTE CARLO dan EKSPERIMEN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 21 Juni 2010

Yang menyatakan

(Siti Aisah)

Nama : Siti Aisah
Program studi : Fisika
Judul skripsi : Penentuan Karakteristik Kuat Kerma dan Konstanta Laju Dosis Sumber Ir-192 mHDR Menggunakan Metode Monte Carlo dan Eksperimen.

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran karakteristik dosimetri sumber Ir-192 *microselectron*HDR (mHDR) brakiterapi menggunakan metode Monte Carlo dan eksperimen. Untuk simulasi Monte Carlo digunakan program EGSnrc dengan medium vacum, udara dan air . Untuk eksperimen dilakukan dengan metode “*in-air measurement*” dalam medium udara menggunakan *jig*, elektrometer Keithley 6487, NE 2571 Farmer chamber dan sumber Ir-192 dengan aktivitas yang terukur 4557 mCi. Dari simulasi, pengukuran kuat kerma per aktivitas rata-rata dalam medium vacum adalah $8.21.10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$, di udara $8.2.10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$ dan di air $8.48.10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$. Untuk konstanta laju dosis, nilai yang diperoleh adalah $2,79.10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$ di vacum, $2,79.10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$ di udara dan $3,18.10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$ di air. Kuat kerma per aktivitas di udara pada jarak 10 cm yang diperoleh dari simulasi $8,18.10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$, bila dibandingkan dengan kuat kerma per aktivitas di udara pada jarak yang sama dalam protokol (PIRS-629r) yaitu $9,709.10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$ memiliki deviasi sebesar 15,73% . Dari eksperimen, hasil pengukuran kuat kerma per aktivitas di udara pada jarak 10 cm adalah $0,001.10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$ dan kuat kerma per aktivitas di udara pada simulasi adalah $8,18.10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$, perbedaan yang cukup besar dapat disebabkan karena aktivitas yang dimaksudkan dalam PIRS-629r adalah aktivitas pada sumber, bukan aktivitas yang terukur. Pada kuat kerma per aktivitas di air menunjukkan bahwa jarak efektif pemberian dosis brakiterapi pada jaringan tubuh adalah kurang dari 5,5 cm atau sekitar 5cm.

Kata kunci : karakteristik dosimetri, brakiterapi, metode Monte Carlo, “*in-air measurement*”, kuat kerma per aktivitas, konstanta laju dosis.

Name : Siti Aisah
Study Program : Fisika
Title : Measurement of Ir-192 mHDR's Air-Kerma Strength and Dose rate Constant Characteristic Using Monte Carlo Method and Experiment.

ABSTRACT

Measurement on Ir-192 mHDR V2 brachytherapy source's dosimetry characteristic were done using Monte Carlo method and experiment. The Monte Carlo simulation were done in vacuum, air and water using EGSnrc software. The experiment were done by using "in-air measurement" method which equipment consist of jig, electrometer Keithley 6487, NE 2571 Farmer chamber and Ir-192 source with 4557 mCi of apparent activity. The average of air-kerma strength per unit activity in simulation result is $8.21 \cdot 10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$ in vacuum, $8.2 \cdot 10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$ in air and $8.48 \cdot 10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$ in water. Dose rate constant in vacuum is $2,79 \cdot 10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$, $2,79 \cdot 10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$ in air and $3,18 \cdot 10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$ in water. Air-kerma strength per unit activity at 10 cm in air calculation is $8,18 \cdot 10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$ di vacuum, comparing to the air-kerma strength per unit activity at the same distance in air based on protocol (PIRS-629r) $9,709 \cdot 10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$, the deviation is 15,73%. From experiment calculation, the air-kerma strength per unit activity at 10 cm in air is $0,001 \cdot 10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$ and simulation's result is $8,18 \cdot 10^{-8} \text{ U Bq}^{-1}$, this large difference may be caused of activity based on PIRS-629r is the real activity of the source, not the apperent activity. The air-kerma strength per unit activity in water shows the effective distance for tissue in brachytherapy treatment is less than 5,5 cm or about 5 cm.

Keywords : dosimetry characteristic, brachytherapy, Monte Carlo method, "in-air measurement", air-kerma strength per unit activity, Dose rate constant

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Metode Penulisan	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Interaksi Radiasi Dengan Materi.....	6
2.2. Stopping Power.....	9
2.3 DosimetriAAPM TG 43.....	11
2.3.1 Kerma.....	11
2.3.2 Air-Kerma Strength.....	12
2.3.3 Konstanta Laju Dosis.....	12
2.4 Metode Monte Carlo dalam Radioterapi.....	12
2.5 EGSnrc.....	13

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. Metode Simulasi	15
3.1.1 Pemodelan Sumber.....	16
3.1.2 Perhitungan Nilai Air-Kerma.....	19
3.1.3 Perhitungan Kuat Kerma per Aktivitas.....	20
3.1.4 Perhitungan Konstanta Laju Dosis.....	21
3.2. Metode Eksperimen	21
BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN.....	24
4.1 Fluence.....	24
4.1.1 Fluence di Vacum	25
4.1.2 <i>Fluence</i> di Udara	28
4.1.3 <i>Fluence</i> di Air.....	29
4.1.4 <i>Fluence</i> di vacum, udara dan air pada jarak 2 cm.....	31
4.2 Kerma di udara dan vacum.....	32
4.3 Kerma di Air.....	34
4.4 Kuat Kerma per Aktivitas di Udara dan Vacum.....	35
4.5 Kuat Kerma per Aktivitas di Air.....	36
4.6 Konstanta Laju Dosis di Vacum , Udara dan Air.....	37
4.7 EKSPERIMEN.....	38
BAB V PENUTUP.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.1.1 Simulasi.....	39
5.1.2 Eksperimen.....	39
5.2 Saran.....	40
DAFTAR REFERENSI.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter fisik simulasi EGSnrcMP Monte Carlo.....	15
Tabel 3.2. Geometri sumber dalam komponen dari R dan Z.....	18
Tabel 4.1 Data spektrum input untuk simulasi.....	26
Tabel 4.2. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan diVacum.....	27
Tabel 4.3. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di udara.....	28
Tabel 4.4. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di air.....	30
Tabel.4.5 Jumlah (%) intensitas fluence pada jarak 2 cm.....	31
Tabel 4.6. Kerma dan Kuat Kerma per Aktivitas di tiap medium.....	35
Tabel 4.7 Nilai Konstanta Laju Dosis di Udara, Vacum dan Air.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema proses efek fotolistrik.....	7
Gambar 2.2 Skema proses efek Compton.....	7
Gambar 2.3 Skema proses produksi pasangan.....	8
Gambar 3.1. Sumber Ir-192 mHDR.....	18
Gambar 3.2. Eksperimen <i>in-air measurement</i>	24
Gambar 4.1 <i>Fluence</i> di vacum pada jarak yang berbeda.....	27
Gambar 4.2 <i>Fluence</i> di udara pada jarak yang berbeda.....	29
Gambar 4.3 <i>Fluence</i> di air pada jarak yang berbeda.....	30
Gambar 4.4 <i>Fluence</i> pada jarak 2 cm dari sumber.....	32
Gambar 4.5 Grafik Kerma di vacum dan air.....	33
Gambar 4.6 Grafik Kerma di air.....	33
Gambar 4.7 Grafik Kerma di vacum.....	34
Gambar 4.8. Grafik Kuat Kerma per Aktivitas di tiap medium.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN I Input FLURZnrc Sumber MicroelectronHDR dalam Medium Udara, Vacuum dan Air
- Data input spektrum (Duchemin and Coursol 1993)
- LAMPIRAN II Fluence foton pada jarak yang berbeda di tiap medium
- Fluence foton tiap medium pada jarak 2cm
- X-ray mass energy-absorption coefficients* (μ_{en} / ρ) di air dan udara kering
- Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di tiap medium
- Jumlah (%) intensitas fluence pada jarak 2 cm
- Data perhitungan kerma dan kuat kerma per aktivitas tiap medium
- Konstanta Laju Dosis di Udara, Vacuum dan Air
- LAMPIRAN III Gambar *Fluence* di tiap medium pada jarak yang berbeda
- Grafik Kerma di tiap medium
- Grafik kuat kerma di tiap medium
- Hasil simulasi untuk fluence foton, kerma dan kuat kerma per aktivitas Ir-192 dengan dan tanpa filter pada jarak 10cm

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Radioterapi merupakan pemanfaatan radiasi pengion untuk membunuh atau menghilangkan penyakit maligna dengan memberi efek negatif seminimal mungkin terhadap jaringan atau sel sehat di sekitarnya. Tujuan radioterapi adalah menghilangkan atau mematikan sel kanker dan menunda proliferasi lebih lanjut. Berdasarkan jarak sumber radiasi ke kanker maka radioterapi dibagi menjadi dua, teleterapi (eksternal), radioterapi internal dan brakiterapi. Teleterapi merupakan radioterapi yang menggunakan sumber radiasi yang diletakkan di luar tubuh pasien, seperti sumber Cobalt-60 dan LINAC. Brakiterapi merupakan salah satu metode pengobatan dalam radioterapi yang diaplikasikan secara internal menggunakan sumber radionuklida tertutup pada jarak dekat. Brakiterapi dapat dikelompokkan berdasarkan laju dosis yang diberikan pada kanker yaitu LDR (*Low Dose Rate*) berkisar antara 0,4-2 Gy/jam, MDR (*Medium Dose Rate*) berkisar antara 2-12 Gy/jam dan HDR (*High Dose Rate*) memiliki laju dosis lebih dari 12 Gy/jam.

Menurut Undang-undang No.10 Tahun 1997 tentang ketenaganukliran, zat radioaktif adalah setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan aktivitas jenis lebih besar dari pada 70 kBq/kg (2 nCi/g). Sumber Iridium-192 merupakan sumber tertutup yang telah digunakan sejak tahun 1958, pertama kali berbentuk butiran kemudian sejak tahun 1960 berbentuk *singlepin* dan *hairpin*. Waktu paro Iridium-192 adalah 73,83 hari dan rata-rata sekali peluruhan akan menghasilkan emisi 1 elektron dan 2.363 foton. Iridium-192 dihasilkan dari reaksi penyerapan neutron pada Iridium-191. Pembuatan dan penanganan sumber Iridium-192 cukup sederhana sehingga terapi menggunakan Iridium-192 sangat cocok diterapkan untuk penderita penyakit kanker di negara berkembang seperti Indonesia. Definisi sebuah sumber dalam protokol AAPM TG 43 adalah setiap materi radioaktif yang diselubungi (dikapsulkan) yang dapat digunakan untuk brakiterapi. Tidak ada batasan pada ukuran atau simetrinya, contoh

sumber titik yang merupakan pendekatan dosimetrik dimana materi radioaktif dianggap sebuah titik yang tidak berdimensi dengan distribusi dosis dianggap simetris sferis dengan jarak radial tertentu, bidang yang melintang pada sumber silindris yang simetris adalah bidang yang tegak lurus terhadap axis (bujur) pada sumber dan membagi dua distribusi radioaktivitasnya, bentuk biji atau benih diartikan sebagai sumber silindris dalam brakiterapi dengan panjang aktif L atau panjang efektif L_{eff} yang kurang atau sama dengan 0,5 cm.

Dosimetri sumber brakiterapi harus dilakukan sebelum sumber tersebut digunakan kepada pasien. Penentuan besaran dosimetri sebuah sumber brakiterapi akan sangat menentukan dalam perencanaan pemberian dosis kepada pasien. Pada penelitian ini dilakukan dosimetri terhadap sumber radiasi Iridium-192 yang meliputi kuat kerma dan konstanta laju dosis dan fungsi geometri pada medium vacuum, udara dan air. Dosimetri dilakukan menggunakan simulasi komputer program EGSnrcMP Monte Carlo dan eksperimen sebagai verifikasi. Digunakan metode Monte Carlo karena ukuran sumber yang sangat kecil terutama untuk di daerah yang dekat dengan sumber, maka dibutuhkan detektor yang kecil pula. Seluruh data geometri dan parameter yang digunakan dalam eksperimen harus disertakan dalam penggunaan simulasi komputer, sehingga kondisi yang sama dengan eksperimen dapat diciptakan. Hasil semua besaran dosimetri yang terukur nanti baik dengan simulasi maupun eksperimen akan dibandingkan dengan hasil yang ada dalam protokol PIRS-629r dan CRLP AAPM TG 43.

1.2 TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dosimetri sumber Ir-192 dengan membandingkan nilai kuat kerma sumber dalam medium vacuum, udara dan air yang terukur melalui simulasi Monte Carlo dan eksperimen, menentukan nilai konstanta laju dosis dalam medium vacuum, udara dan air melalui simulasi.

1.3 PEMBATASAN MASALAH

Permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada penentuan karakteristik nilai kuat kerma pada jarak 100 cm dan konstanta laju dosis pada jarak 1 cm dari permukaan sumber Iridium-192 “microselectron High Dose Rate” (mHDR) yang diperoleh melalui simulasi dan eksperimen. Simulasi komputer menggunakan software EGSnrc dan eksperimen menggunakan *in-air measurement*.

1.4 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahap antara lain:

1. Studi Literatur

Metode studi literatur ini digunakan untuk memperoleh teori-teori dasar sebagai sumber dan acuan dalam penulisan skripsi. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, internet, dan bukubuku yang berhubungan dengan tugas akhir penulis.

2. Memasukkan Data Geometri dan Parameter dari Eksperimen

Seluruh data parameter yang digunakan dimasukkan ke dalam data komputer untuk menciptakan kondisi yang sama dengan yang dilakukan pada eksperimen.

3. Melakukan Simulasi Komputer

Simulasi komputer dilakukan untuk mendapatkan fluence foton yang diperoleh dari simulasi pemodelan sumber. Perhitungan kerma dan kuat kerma dengan menggunakan data dari output pemodelan sumber dengan memasukkan semua parameter dan fluence foton. Hasil perhitungan kuat kerma dan fungsi geometri sumber tersebut yang akan diolah untuk menghasilkan kurva.

4. Metode Analisis

Metode ini merupakan pengamatan terhadap data yang telah diperoleh dari pengambilan data. Setelah itu dilakukan analisis sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran – saran untuk pengembangan lebih lanjut.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari bab-bab yang memuat beberapa sub-bab. Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman maka penulisan skripsi ini terdiri atas 5 bab dan secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan dan sistematika penulisan dari skripsi ini.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan interaksi radiasi dengan materi, *stopping power*, kerma dan metode monte carlo.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah – langkah dalam pelaksanaan simulasi komputer pengambilan data sampai dengan proses perolehan hasil.

BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditampilkan hasil simulasi komputer, hasil pengukuran dan hasil perhitungan dari penelitian yang dilakukan beserta analisisnya dan perbandingan antara hasil yang didapatkan dengan protokol AAPM TG 43 dan PIRS-629r.

BAB V PENUTUP

Bab penutup ini berisi kesimpulan penulis yang diperoleh berdasarkan selama penelitian berlangsung, selain itu penutup juga berisikan tentang saran-saran dari penulis untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam pengembangan lebih lanjut.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Interaksi Radiasi Dengan Materi

Radiasi apabila menumbuk suatu materi akan menimbulkan suatu efek yang bergantung pada energi radiasi, jenis radiasi, dan jenis materi yang ditumbuknya. Radiasi dapat menyebabkan proses ionisasi atau proses eksitasi ketika menumbuk suatu materi. Radiasi yang menyebabkan ionisasi disebut radiasi pengion. Pada saat menembus materi, radiasi pengion menumbuk elektron orbit sehingga terlepas dari atom, proses inilah yang disebut dengan proses ionisasi. Berbeda dengan proses ionisasi yang dapat menyebabkan elektron orbital terlepas dari atom, proses eksitasi hanya menyebabkan elektron berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi karena energi radiasi yang menumbuk materi tidak cukup besar untuk menyebabkan electron terlepas dari ikatan atom. Elektron yang berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi tersebut kemudian akan kembali ke tingkat energi awal dengan melepaskan energi.

Sinar-x ketika melewati materi dapat berkurang energinya karena tiga proses utama yaitu, efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan. Efek fotolistrik dan efek Compton timbul akibat interaksi sinar-x dengan elektron pada atom, sedangkan produksi pasangan timbul karena interaksi dengan medan inti atom.

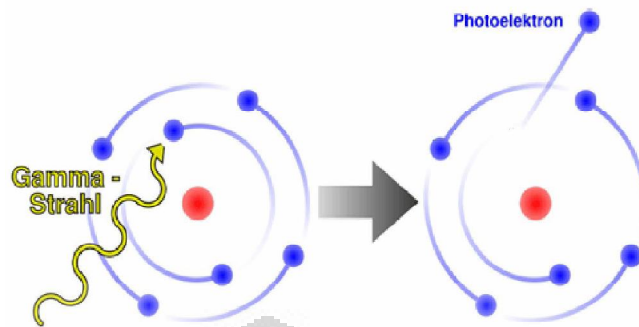
Pada efek fotolistrik energi foton yang datang diserap seluruhnya oleh elektron orbit untuk melepaskan diri dari energi ikat atom dan juga digunakan sebagai energi kinetic elektron.

$$h\nu = E_{K \text{ elektron}} + W \quad (2.1)$$

Dimana: $h\nu$ = energi foton

$E_{K \text{ elektron}}$ = energi kinetik elektron

W = fungsi kerja materi



Gambar 2.1 Skema proses efek fotolistrik

Pada hamburan Compton energi foton yang datang pada materi tidak diserap seluruhnya oleh elektron. Foton yang datang pada materi akan bertumbukan dengan elektron orbital dari atom materi dan akan memberikan sebagian energinya kepada elektron sehingga menyebabkan elektron memiliki energi kinetik, kemudian keduanya baik foton maupun elektron akan terhambur. Akibat proses tersebut energy foton akan berkurang besarnya, energi foton yang hilang dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut :

$$hv - hv' = \frac{h}{mc} (1 - \cos\theta) \quad (2.2)$$

dimana :

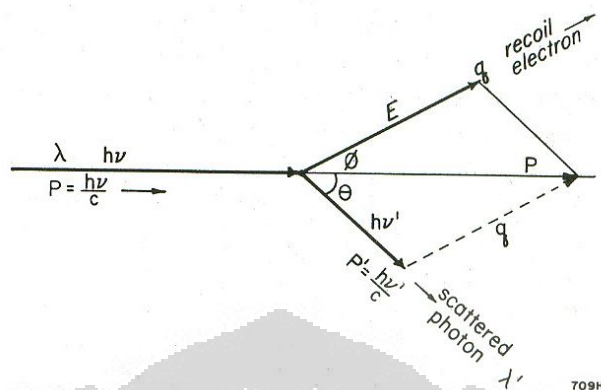
hv = energi foton sebelum tumbukan

hv' = energi foton setelah tumbukan

m = massa electron

h = konstanta Plank

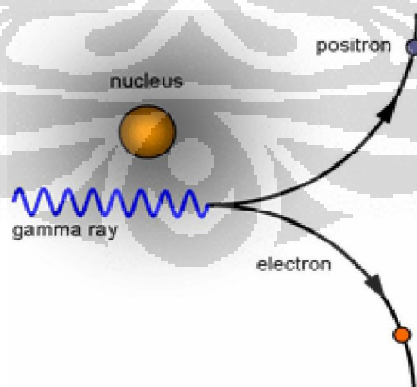
θ = sudut hambur



Gambar 2.2 Skema proses efek Compton

Proses produksi pasangan hanya terjadi bila foton datang dengan energi lebih besar 1,02 MeV. Apabila foton semacam ini mendekati inti atom, foton tersebut akan lenyap dan sebagai gantinya timbul sepasang elektron dan positron. Positron adalah partikel yang massanya sama dengan elektron dan bermuatan listrik positif yang besar muatannya juga sama dengan elektron. Proses produksi pasangan memenuhi hukum kekekalan energi:

$$h\nu = 2m_0c^2 + K_+ + K_- \tag{2.3}$$



Gambar 2.3 Skema proses produksi pasangan

Seperti halnya dengan foton ketika elektron memasuki jaringan akan terjadi interaksi dengan materi yang dilewatinya. Hamburan yang dapat terjadi pada seberkas elektron diantaranya ialah hamburan Moller dan hamburan Bhabha. Hamburan Moller merupakan hamburan antara elektron dengan elektron yang dimediasikan dengan hadirnya foton. Sedangkan hamburan Bhabha merupakan hamburan antara elektron dengan positron yang juga dimediasikan dengan hadirnya foton seperti pada hamburan Moller tetapi dengan energi foton yang lebih besar.

2.2 Stopping Power (Daya henti)

Partikel-partikel bermuatan kehilangan energi hanya pada proses interaksi. Karena frekuensi interaksi sangat besar dan jarak antar interaksi sangat kecil, maka dalam skala makroskopik, partikel seperti kehilangan energi secara kontinu. Jumlah energi kinetik partikel bermuatan yang hilang per satuan jarak lintasan dalam medium disebut daya henti. Daya henti memiliki satuan. Daya henti massa pada umumnya dinyatakan dengan notasi S , dan secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$S = \frac{\Delta E}{\Delta d} \quad [\text{MeV/cm atau J/m} \quad (1 \text{ MeV} \equiv 1,602 \cdot 10^{-11} \text{ J/m})] \quad (2.4)$$

Rasio antara daya henti (S) dan densitas (ρ) dari medium yang meng-*absorp* disebut *mass stopping power* :

$$S = \frac{dE}{\rho dx} \quad [\text{MeVcm}^2/\text{g atau J m}^2/\text{kg} \quad (1 \text{ MeVcm}^2/\text{g} \equiv 1,602 \cdot 10^{-14} \text{ J m}^2/\text{kg})] \quad (2.5)$$

Daya henti terfokus pada energi elektron hilang pada saat bergerak dalam medium. Sedangkan energi yang di-*absorp* medium dinyatakan sebagai LET (linear energy transfer), yang merupakan energi rata-rata yang diberikan pada medium secara lokal oleh partikel bermuatan dengan energi tertentu dalam menempuh suatu lintasan dalam medium. LET juga dikenal sebagai *restricted stopping power*.

$$L = dE_L/dl \quad (2.6)$$

Dimana dE adalah energi rata-rata yang diberikan pada medium secara lokal oleh partikel bermuatan dengan energi tertentu dalam menempuh suatu lintasan dalam medium (dl).

Elektron yang berinteraksi dengan elektron dimungkinkan untuk membentuk "delta ray". Dalam LET, energi yang dipakai untuk membentuk delta ray tidak dimasukkan dalam perhitungan, batasan energi tertentu dinyatakan sebagai energy cut off diberikan "sebagai" subscript, misalnya LET_{100} yang berarti LET yang diperoleh bila lintasan akibat elektron sekunder dengan energi 100 eV atau lebih dihitung sebagai lintasan yang berbeda. Parameter yang paling sederhana adalah L_∞ yang didefinisikan sebagai energi yang hilang per unit jarak suatu partikel bermuatan dan dihasilkan oleh gelombang elektromagnet atau neutron, ataupun partikel bermuatan berasal dari sumber radiasi. Nilai L_∞ sama dengan daya henti.

Dosimetri radiasi berhubungan dengan berbagai metoda untuk penentuan kuantitatif energi yang dideposit pada suatu medium secara langsung atau tidak langsung oleh radiasi pengion. Beberapa besaran dipakai untuk menyatakan berkas radiasi pengion monoenergi, yaitu fluens partikel, fluens energi, laju fluens, dan laju fluens energi. Fluens partikel (Φ) didefinisikan sebagai jumlah foton dN yang menembus tegak lurus pada satu satuan luas suatu bidang dA . Satuan fluens adalah m^{-2} merupakan daerah yang tegak lurus pada arah partikel.

$$\Phi = \frac{dN}{dA} = \frac{\text{jumlah foton}}{\text{luas}} \quad (2.7)$$

Fluens energi (ψ) didefinisikan sebagai sejumlah energi yang melewati satu satuan luas (A)

$$\psi = \frac{dNE}{dA} = \frac{\text{energi}}{\text{luas}} \quad (2.8)$$

Dalam brakiterapi karakteristik sumber dapat ditentukan dengan dua cara, eksperimen dan metode teori yang mengikuti rekomendasi AAPM yang telah dipublikasi dalam TG-43 report (Nath et al. 1995). Dalam protokol ini, distribusi dosis disekitar penutup/seal sumber barkiterapi bisa ditentukan menggunakan persamaan:

$$\dot{D}(r, \theta) = Sk \cdot \Lambda \cdot \left(\frac{G(r, \theta)}{G(1, \frac{\pi}{2})} \right) \cdot gL(r) F(r, \theta) \quad (2.9)$$

Dimana:

Sk = kuat kerma sumber yang digunakan [$\text{Gy m}^2 \text{s}^{-1}$]

Λ = konstanata laju dosis [$\text{cGy h}^{-1} \text{U}^{-1}$]

$G(r, \theta)$ = fungsi geometri [$1/\text{cm}^2$]

$g_l(r)$ = fungsi dosis radial

$F(r, \theta)$ = fungsi anisotropi

2.3. Dosimetri AAPM TG 43

2.3.1 Kerma

Kerma (*Kinetic Energy Released in Matter*) adalah sejumlah energi yang dipindahkan dari foton ke medium sebagai energi kinetik partikel bermuatan. Energi yang ditransfer tidak hanya terjadi pada titik tertentu seperti titik dimana foton berinteraksi, akan tetapi dapat terjadi sepanjang lintasan foton berinteraksi. Kerma merupakan satuan teori karena tidak dapat diukur secara eksperimen.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad [\text{Joule/kg atau Gray}] \quad (2.10)$$

Dengan dE_{tr} adalah energi kinetik yang dipindahkan dari foton ke elektron dalam satuan joule yang memiliki massa dm. Persamaan tersebut menggambarkan kondisi yang sesungguhnya terjadi dalam proses transfer energi atau kerma dalam interaksi

foton di dalam materi. Jika foton dengan energi $h\nu$ dan fluence foton Φ menembus materi, maka persamaan kerma yang digunakan adalah :

$$K = \Phi \frac{\mu}{\rho} \bar{E}tr \quad [\text{Joule/kg}] \quad (2.11)$$

Dengan $\Phi \frac{\mu}{\rho}$ adalah jumlah foton yang melakukan interaksi per unit massa, $\bar{E}tr$ energi rata-rata yang ditransfer kepada elektron dalam interaksi.

2.3.2 Air-Kerma Strength(Kuat Kerma)

Kuat kerma dapat dikatakan sebagai kekuatan sumber radioaktif yang ditentukan oleh besarnya laju kerma (Gray/s) udara pada titik tertentu dengan posisi tegak lurus sumber dan merupakan kemampuan sumber untuk mengeluarkan laju dosis.

$$Sk = \dot{K}_{air}(d) \cdot d^2 \quad [\text{cGy cm}^2\text{h}^{-1}] \quad (2.12)$$

Dimana Sk adalah kuat kerma, \dot{K}_{air} kerma di udara dan d adalah jarak dalam cm.

2.3.3 Konstanta Laju Dosis

Konstanta laju dosis didefinisikan sebagai perbandingan antara laju dosis (kerma) di medium pada jarak 1 cm dan 90° dari sumbu tegak dengan *kerma strength* sumber di udara. Konstanta laju dosis ditunjukkan pada persamaan :

$$\Lambda = \frac{\dot{D}(1, \frac{\pi}{2})}{Sk} \quad [\text{cGy h}^{-1} \text{U}^{-1}] \quad (2.13)$$

Dengan \dot{D} adalah laju dosis (kerma) di medium pada jarak 1 cm dan 90° dari sumbu tegak dan Sk *kerma strength* sumber di udara.

2.4 Metode Monte Carlo Dalam Radioterapi

Metode Monte Carlo merupakan metode yang menggunakan random sampling dari distribusi probabilitas untuk menyelesaikan suatu permasalahan. Pada metode

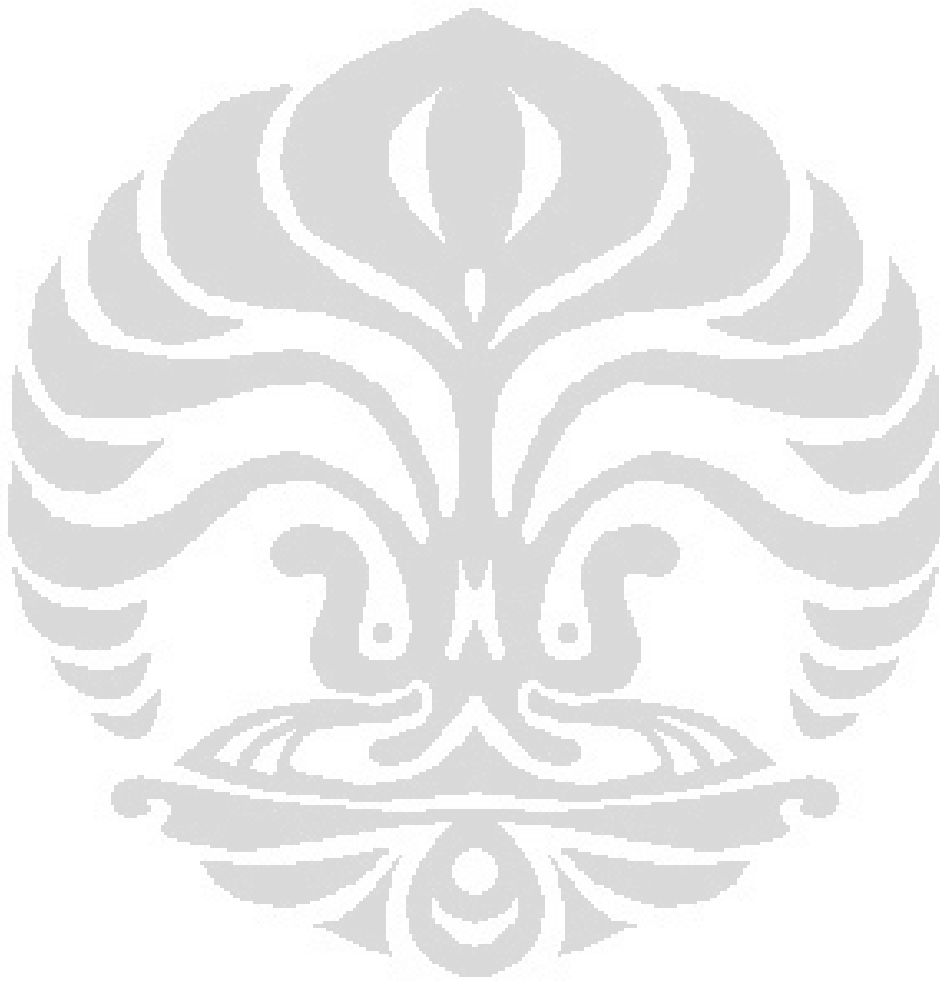
Monte Carlo random sampling dari distribusi probabilitas yang diketahui digunakan untuk mengetahui bagaimana keluaran dari suatu permasalahan. Misalnya foton dengan energi 1MeV bergerak melalui medium air. Probabilitas interaksi akan berhubungan dengan cross section total \sum_{total} yang secara sederhana merupakan penjumlahan dari cross section efek fotolistrik dan efek Compton. Jika diberikan cross section dan random number η yang secara uniform terdistribusi antara 0 dan 1, jarak tempuh foton x sebelum berinteraksi dengan medium dapat ditulis $x = -\ln(\eta) / \sum_{total}$. Tipe interaksi yang terjadi di x dapat ditentukan oleh fraksi probabilitas dari setiap interaksi. Jika kita menentukan η yang di definisikan $\eta = \sum_{efekfoto} / \sum_{total}$. Efek fotolistrik diasumsikan terjadi. Berdasarkan interaksi yang dipilih kemudian random number digunakan untuk mengevaluasi distribusi energi dari hasil interaksi berdasarkan distribusi probabilitas.

2.5 EGSnrc

EGSnrc merupakan salah satu program yang dapat mensimulasikan transport foton atau elektron dengan menggunakan metode monte carlo. Dalam proses transport radiasi foton atau elektron terjadi berbagai interaksi antara partikel atau medium yang dilewati oleh foton atau elektron. Tipe interaksi dan partikel yang dihasilkan ditentukan oleh crosssection pada jarak yang ditempuh. Sangat penting diketahui data crosssection dari setiap medium untuk mengetahui interaksi yang terjadi. Kumpulan data material dan crosssection untuk EGSnrc dibuat dengan kode PEGS4. Kode ini berdiri sendiri dan dapat digunakan untuk membangun data material yang akan digunakan dalam simulasi.

Dalam simulasi yang dilakukan terdapat banyak parameter yang disertakan. Diantaranya parameter ECUT dan PCUT. ECUT adalah batas energi terendah dimana simulasi akan menghentikan transport partikel apabila energi elektron berada di bawah nilai ECUT. Sedangkan PCUT adalah batas energi terendah dari foton dimana simulasi

akan menghentikan transport partikel apabila energi foton berada di bawah PCUT. Pendefinisian PCUT dan ECUT memiliki peranan sangat penting. Hal ini disebabkan penentuan ECUT dan PCUT dapat mempengaruhi efisiensi waktu perhitungan.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE SIMULASI

Perhitungan parameter kerma dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo EGSnrcMP/FLURZ berbasis Windows dengan sumber Ir-192 mHDR. Perhitungan yang dilakukan yaitu menentukan kerma dan kuat kerma pada medium udara, vacuum dan air, hasil perhitungan yang diperoleh melalui simulasi adalah *fluence foton*. EGSnrcMP memerlukan input bentuk geometri sumber Ir-192 mHDR : panjang, diameter, komposisi material sumber dan ukuran medium yang diambil yaitu medium pada udara kering pada keadaan standard, medium vacuum dan medium air masing-masing dengan diameter 100cm dan panjang 100cm. Bahan yang digunakan dalam simulasi terdapat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter fisik dalam simulasi EGSnrcMP Monte Carlo⁵

Material	Elemen penyusun	Komposisi [%berat]	Densitas [g cm ⁻³]	Z _{eff}
Udara kering	C	0,0124	1,205E-03	8
	N	75,5267		
	O	23,1781		
	Ar	1,2827		
Ir			23,39	77
Pt			21,41	78
Ir 25%Pt75 %	Ir	25	21,655	78
	Pt	75		
Air (H ₂ O)	H	11,1894	1	7
	O	88,8106		
Steel/baja (AISI 304)	Si	1	8,02	26
	Cr	19		
	Mn	2		
	Fe	68		
	Ni	10		

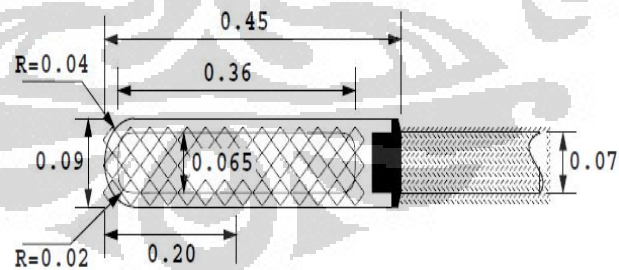
3.1.1 Pemodelan Sumber

Pemodelan sumber dalam penelitian ini menggunakan program EGSnrc. Bentuk geometri untuk memperoleh fluence yaitu diambil data pengukuran yang tegak lurus dari titik tengah sumber Ir-192 mHDR.

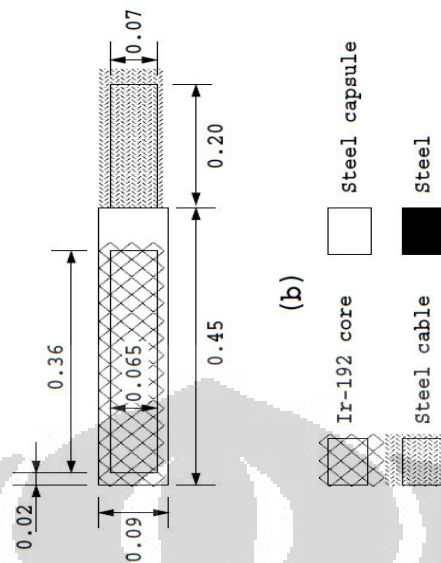
Sumber mHDR Brakiterapi terdiri dari logam Iridium berbentuk silinder dengan panjang 0.36 cm dan diameter 0,065 cm yang didalamnya terdistribusi sumber radioaktif berbentuk garis Ir-192. Di sekitar intinya merupakan sebuah kapsul dengan diameter terluar 0.09 cm yang terbuat dari baja AISI 316L steel berdensitas $8,06 \text{ g/cm}^3$ dan terhubung pada kabel baja 0,2 cm yang berdiameter 0.07 cm dengan densitas $4,81 \text{ g/cm}^3$. Gambar 3.1 menunjukkan bentuk geometri sumber asli Ir-192 mHDR dan model sumber Ir-192 mHDR yang digunakan dalam perhitungan Monte Carlo. Jika bentuk sumber yang menyerupai silinder direntangkan (dibuka), maka akan didapat tiga bagian yang juga berbentuk silinder yaitu *Ir-192 core* yang berdiameter 0,065 cm, *steel capsule* yang berdiameter 0,09 cm, dan *steel cable* yang berdiameter 0,07 cm. Kemudian masing-masing diameter dibagi dua untuk jari-jari (komponen R/horizontal) dan masing-masing panjang dikelompokkan kedalam *depth* (komponen Z/vertikal/SLABS) yang terdiri dari empat bagian yang penjumlahan panjangnya berurutan yaitu 0,02 cm, 0,38 cm, 0,45 cm, 0,65 cm dan setiap *depth* merupakan hasil penjumlahan ruas-ruas panjang silinder sebelumnya dan ruas ruang yang tersisa mulai dari 0,02 cm dan seterusnya sampai ke 0,2 cm. Jarak ukur panjang dari titik tengah sumber mengikuti jarak acuan 100 cm yaitu ke atas titik tengah sumber 50 cm dan ke bawah titik tengah sumber 50 cm. Dengan membagi dua silinder terluar yang memiliki panjang 0,45 cm, maka dapat dihitung kedalamannya yaitu selisih antara 50 cm dan 0,225, hasil bagi dua dari 0,45 cm (jarak di luar sumber) dan saat bertemu ujung bagian bawah sumber terdapat ruang 0,02 cm jarak dari luar sumber tersebut ditambah 0,02 cm kemudian ditambahkan lagi 0,36 cm, 0,07 cm dan 0,2 cm. Ukuran yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.2. Untuk *sampling* sumber diambil bagian 49,795-50,155 cm yaitu pada *region* antara 4 dan 5, 49,795 cm ditambahkan hasil bagi dua

0,36 cm (diambil bagian tengah), hasilnya dikurangi nilai bagi dua 0,01 cm (voxel ($0,1 \text{ mm}^3$)) dan letak sumber dapat diketahui berada pada kedalaman 49,97-49,98 cm (biru). Dimulai dari angka 2,3,4,5,6...25 adalah *region* untuk masing-masing material sumber termasuk medium yang digunakan dan dilanjutkan sampai region 665. Bagian yang berwarna abu-abu adalah medium, kuning *cladding* (capsule steel), merah Ir-192 dan hijau *steel*.

Ukuran geometri kemudian dimasukkan kedalam program EGSnrc_inprz, pada tool box *General* pilih EGSnrc *user code* dengan pilihan FLURZnrc, *Target* dengan pilihan "optimization", *user code area* dengan pilihan "other" dan *Pegs data area* dengan pilihan HEN_HOUSE. Beralih ke "tool box" *Geometry*, lihat *input method*, pilih "individual", *number of histories* yang digunakan adalah 10^8 , memasukan ukuran-ukuran perhitungan yang diperoleh kedalam *depth information* dan *cylinder information*. Pada *depth information* dicantumkan hasil perhitungan kedalaman, selanjutnya memasukan data material sumber yang sebelumnya dibuat dalam PEGS4 dan medium pada media input dengan memilih "region" sebagai deskripsi. Nilai PCUT dan ECUT pada *Transport parameter* adalah 0,001 MeV dan 0,512 MeV. Tampilan geometri sumber dapat di-*preview* setelah semua nilai dimasukkan dan disimpan.



(a)



Gambar 3.1. Sumber Ir-192 mHDR. a) bentuk geometri sumber asli b) model sumber yang digunakan dalam perhitungan Monte Carlo.

Tabel 3.2. Geometri sumber dalam komponen dari R dan Z

Z(depth)(cm)	Radius(cm)		
	0.0325	0.035	0.45
49.775	2	10	18
49.795	3	11	19
49.970	4	12	20
49.980	5	13	21
50.155	6	14	22
50.225	7	15	23
50.425	8	16	24
100.000	9	17	25

Pengukuran atau simulasi yang dilakukan pada titik tertentu diukur dari permukaan sumber Ir-192 mHDR masing-masing pada : 0,46 cm, 0,6 cm, 0,7 cm, 0,8c m, 0,9 cm, 1 cm, 1,2 cm, 1,4 cm, 1,5 cm, 1,7 cm, 2 cm, 2,5 cm, 3 cm, 3,5 cm, 4 cm, 4,5 cm, 5 cm, 5,5 cm, 6 cm, 6,5 cm, 7 cm, 7,5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm, 100 cm. Pada simulasi bentuk geometri yang diambil berupa luasan bukan dalam bentuk titik, misalnya untuk mengukur jarak titik 2 cm dari permukaan sumber yaitu diambil titik 1,995 cm dan 2,005 cm atau untuk 0,9 cm dari permukaan, maka diambil

titik 0,895 cm dan 0,905 cm kemudian dimasukkan kedalam program EGSnrcMP dan seterusnya.

Nilai lebar energi *sampling* (interval) yang diambil yaitu 0,005 MeV. Karena nilai ini sangat mempengaruhi tingkat ketelitian dalam pengukuran yaitu semakin kecil lebar energi maka akan memberikan hasil yang lebih baik.

3.1.2 Perhitungan Nilai Air Kerma

Dalam program EGSnrc, *user-code* yang dapat digunakan untuk menghitung fluence adalah FLURZ karena model geometri sumber yang digunakan berbentuk silinder mendekati geometri asli. FLURZ menghitung $\phi'(E)$, perbedaan spektrum fluence dalam beberapa volume per *initial photon* pada simulasi. *Air kerma* per *initial photon* dalam volume yang sama dihitung ke dalam Microsoft Excel menggunakan persamaan diskrit⁵:

$$\dot{K}_{air} = 1.602E - 10 \sum_{E_{min}}^{E_{max}} \phi'(E) \cdot E_i \cdot \left(\frac{\mu_{en}(E_i)}{\rho} \right) \cdot \Delta E \quad [\text{Gy} / \text{photon}] \quad (3.1)$$

Dengan $\phi'(E)$ adalah perbedaan spektrum fluence dalam beberapa volume per *initial photon* (fluence foton) yang diperoleh dari memproses data input parameter yang ada pada EGSnrc dan PEGS4, setelah diperoleh output dari FLURZnrc, data fluence foton dari tiap energi bin top dimasukkan dalam perhitungan untuk setiap jarak dan dihitung nilai rata-ratanya. E_i posisi energi tengah-tengah spektrum, ΔE lebar spektrum yaitu 0,005 MeV, $\mu_{en}(E_i) / \rho$ adalah koefisien energi absorpsi massa pada energi E [$\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$] dan Faktor 1.602 E-10 adalah faktor konversi dari MeV/g menjadi Gray. Sedangkan dalam bentuk kontinu menjadi :

$$K_{air} = 1.602E-10 \int_{E_{min}}^{E_{max}} \phi(E) \cdot E \cdot \left(\frac{\mu_{en}(E)}{\rho} \right) \cdot dE \quad [\text{Gy}] \quad (3.2)$$

Dengan $\phi(E)$ [$\text{MeV}^{-1}\text{cm}^{-2}$] sebagai fluence foton per unit energi pada energi E [MeV].

Untuk sumber Ir-192, setiap satu peluruhan (disintegrasi) akan mengemisikan satu elektron dan 2.363 foton. Hubungan antara aktivitas sumber A, dan jumlah foton yang diemisikan per detik, N_{foton} adalah :

$$N_{foton} = A \times (2.363 \pm 0.3\%) \quad [\text{photon s}^{-1}] \quad (3.3)$$

Ketidakpastian 0.3% diperoleh dari Duechim dan Coursol, 1984. Sehingga untuk setiap disintegrasi elektron, jumlah kerma yang terjadi adalah:

$$K'_{air} = K'_{air} \cdot N_{foton} = 2.363 \cdot K'_{air} \cdot A \quad [\text{Gy s}^{-1}] \quad (3.4)$$

3.1.3 Perhitungan Air-Kerma Strength (Kuat Kerma per Aktivitas)

Kuat kerma dapat dikatakan sebagai kekuatan sumber radioaktif yang ditentukan oleh besarnya laju kerma (Gray/s) udara pada titik tertentu dengan posisi tegak lurus sumber dan merupakan kemampuan sumber untuk mengeluarkan laju dosis. Kuat kerma per aktivitas yang dimasukkan dalam excel untuk simulasi ini menggunakan persamaan :

$$Sk/A = K'_{air}(d) \cdot d^2/A = 2.363 \cdot K'_{air}(d) \cdot d^2 \quad [\text{Gy m}^2\text{s}^{-1}\text{Bq}^{-1}] \quad (3.5)$$

Atau dalam $[U \text{ Bq}^{-1}]$:

$$\frac{Sk}{A} = 3.6.10E09 \cdot (2.363 \pm 0.3\%) \cdot K'_{air}(d)d^2 \quad [\text{UBq}^{-1}] \quad (3.6)$$

Dimana Sk/A adalah kuat kerma per aktivitas, $K'_{air}(d)$ kerma di udara pada jarak d dan $1U = 1\mu\text{Gy m}^2\text{h}^{-1}$

3.1.4 Perhitungan Konstanta Laju Dosis

Konstanta laju dosis dihitung dengan membandingkan antara laju dosis (kerma) di medium yang diperoleh dari simulasi dalam persamaan (3.4) pada jarak 1 cm dan 90° dari sumbu tegak dengan kuat kerma sumber di udara (3.5) sebagai acuan menggunakan persamaan (2.13).

3.2 METODE EKSPERIMEN

Metode kalibrasi dalam eksperimen ini adalah menggunakan *calibration jig* (*in air-measurement*). Pengukuran dilakukan di Rumah Sakit Persahabatan menggunakan sumber Ir-192 mHDR dengan aktivitas saat pengukuran, 30 April 2010 pukul 15.20 WIB sebesar 4557 mCi, detektor well type chamber NE 2571 Farmer seri 2491 dengan faktor kalibrasi (N_{k250kV}) 48.6 mGy/nC, (N_{kCo}) 41,2 mGy/nC, karena *Cap* yang digunakan adalah Co-60 dan elektrometer Keithley 6487. NE 2571 Farmer yang digunakan dalam eksperimen memiliki volume 0,6 cm³, panjang air-cavity 24,1 mm dengan jari-jari 3,15 mm, material dan tebal dinding yaitu dari graphite dengan tebal 0,065 gcm⁻², build up cap terbuat dari Delrin dengan tebal 0,551 mm.

Karena tak satupun PDSLs (primary Dosimetry Standard Laboratories) memiliki standar yang diakui untuk penggunaan *ionization chamber* untuk Ir-192 HDR dan hanya beberapa standard beberapa sumber Ir-192 LDR, maka sangat diperlukan untuk mendapatkan faktor kalibrasi air kerma untuk *ionization chamber* menggunakan metode tidak langsung salah satunya adalah untuk SSDL metode yang lebih sederhana yang telah dikembangkan oleh Goetsch¹². Sebenarnya metode ini dikembangkan untuk kalibrasi *ionization chamber* yang selanjutnya digunakan dalam dosimetri Ir-192 HDR tapi dapat juga digunakan dalam kalibrasi sumber Ir-192 LDR. Yang diusulkan dalam prinsip Goetsch adalah untuk mengkalibrasi *chamber* pada kualitas *X-ray* yang sesuai dan pada Cs-137, atau Co-60 bila Cs-137 tidak tersedia. Dengan faktor kalibrasi air kerma yang diketahui pada dua energi ini, faktor kalibrasi air kerma Ir-192 diperoleh dengan interpolasi. Metode ini membutuhkan tebal dinding

total chamber agar sama pada setiap kualitas kalibrasi . Berat rata-rata energi *air kerma* pada sumber brakiterapi Ir-192 adalah 397 keV. *X-ray beam* sejenis yang dapat digunakan untuk kalibrasi pada SSDLs adalah 250 kV, filtrasi tambahan dari 1 mm Al dan 1,65 mm Cu dan HVL dari 2,5 mm Cu. Beam yang serupa ini digunakan untuk energi yang lebih rendah pada penentuan faktor kalibrasi *air kerma*. Laboratorium primer dapat memberikan faktor kalibrasi *air kerma* untuk kualitas beam seperti ini dan *chamber* standard sekunder dapat dikalibrasi pada energi ini. Sebagai alternatif, SSDLs dapat mengkalibrasi *chamber* standard sekunder pada energi-energi yang mereka(chamber) miliki. Dalam report IAEA 1274 yang diacu, *X-ray beam* yang digunakan adalah sekitar diatas 250kV *beam*. Jika menggunakan Cs-137, tebal total dinding yang dibutuhkan adalah $0,36 \text{ g/cm}^2$ untuk mem-blok semua elektron yang datang dari sumber atau *cap* (penutup) dan untuk keseimbangan partikel bermuatan pada energi paling tinggi dari elektron sekunder yang ada pada hamburan Cs-137. Jika tebal total dinding $0,36 \text{ g/cm}^2$ tidak tersedia, *cap* yang terbuat dari Co-60 dapat digunakan. Perbedaan dalam perhitungan faktor kalibrasi $N_{k, Ir}$ menggunakan kedua tebal dinding yang berbeda ini adalah sekitar 0,5% ¹².

Pengukuran dilakukan dengan dua posisi sumber yang berada dalam kateter plastik simetri relatif terhadap detektor yang masing-masing berjarak 10 cm dari tengah-tengah detektor seperti pada gambar 3.3 pada temperatur 21°C dan tekanan 919 mBar. Kateter sumber yang terbuat dari plastik digunakan untuk meminimalisir efek atenuasi. Untuk pengaturan dimensi ruang, jarak antara detektor dan pancaran radiasi sumber adalah 1m. Pengukuran dilakukan dengan sepuluh kali pengulangan.

Menurut *National Institute of Standards and Technology* (NIST) dan *Accredited Dose Calibration Laboratories* (ADCLs), faktor kalibrasi chamber untuk kondisi lingkungan standar yaitu pada temperatur $T_o = 20^\circ\text{C}$ (22°C di Amerika Utara) dan tekanan $P_o = 760 \text{ mm Hg}$ atau 101.33 kPa (1 atmosfer), tetapi tidak ada koreksi untuk kelembaban. Kelembaban selama kalibrasi dijaga dalam range 45%-55%, sehingga koefisien kalibrasi ada untuk kelembaban relatif sekitar 50% ⁷.

Faktor koreksi untuk temperatur dan tekanan udara $K(T,P)$ adalah :

$$K(T, P) = \frac{273.15+T}{273.15+T_0} \times \frac{P_0}{P} \quad (3.8)$$

Dengan T dan P masing-masing adalah suhu dan tekanan udara pada chamber saat pengukuran.

Untuk mencari nilai kuat kerma udara dalam eksperimen ini digunakan formula mencari laju kerma terlebih dahulu yaitu :

$$K_R = N_{k,ir} (Mu/t) \times k_{air} \times k_{scatt} \times k_n \times (d/d_{ref})^2 \quad (3.9)$$

Dimana :

$N_{k,ir}$ = faktor kalibrasi kerma udara dari chamber/ detektor

$$N_{k,ir} = 0,8 N_{k,250kV} + 0,2 N_{k,Co} \quad (3.10)$$

Mu/t = muatan yang terkumpul selama waktu t pada elektrometer (nC/s) dan telah dikoreksi untuk suhu dan tekanan ruang (dikalikan $K(T,P)$)

k_{air} = koreksi untuk atenuasi foton primer oleh udara antara sumber dan detektor

k_{scatt} = koreksi untuk pancaran radiasi dari dinding, lantai, *set-up* pengukuran, udara,dll

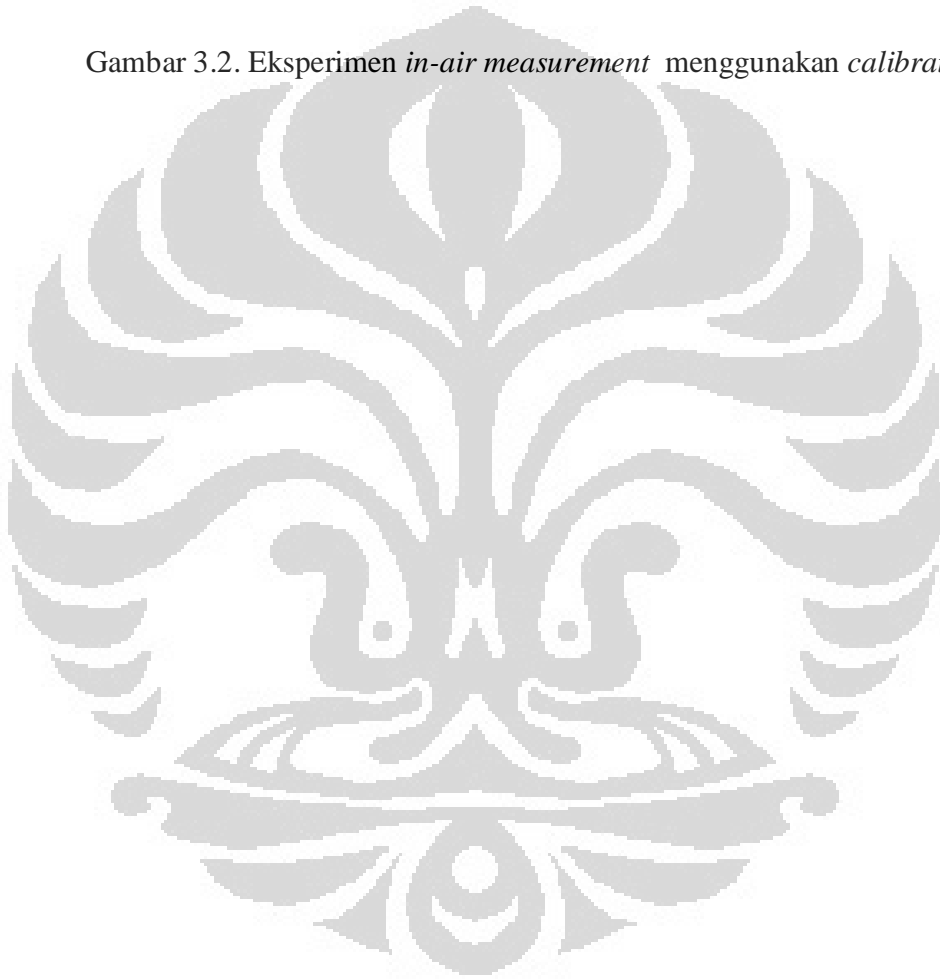
k_n = faktor koreksi *non-uniformity*, untuk *fluence* elektron non-uniform dalam *air-cavity*

d = jarak dari titik tengah sumber ke titik tengah detektor (10 cm)

d_{ref} = jarak referensi 100 cm



Gambar 3.2. Eksperimen *in-air measurement* menggunakan *calibration jig*



BAB IV

HASIL dan PEMBAHASAN

4.1 *Fluence*

Hasil yang diperoleh dari perhitungan FLURZ/EGSnrcMP merupakan besaran *fluence* yang menyatakan banyaknya foton yang diterima untuk setiap satuan luas area. Berdasarkan hasil perhitungan nilai *fluence* foton dari sumber Ir-192 terjadi perubahan intensitas terhadap jarak. Pada sumber brakiterapi Ir-192 partikel β yang dikeluarkan dari proses peluruhan Ir-192 telah terserap oleh selubung sumber, maka hanya *fluence* foton yang diamati.

4.1.1. *Fluence* di Vacuum

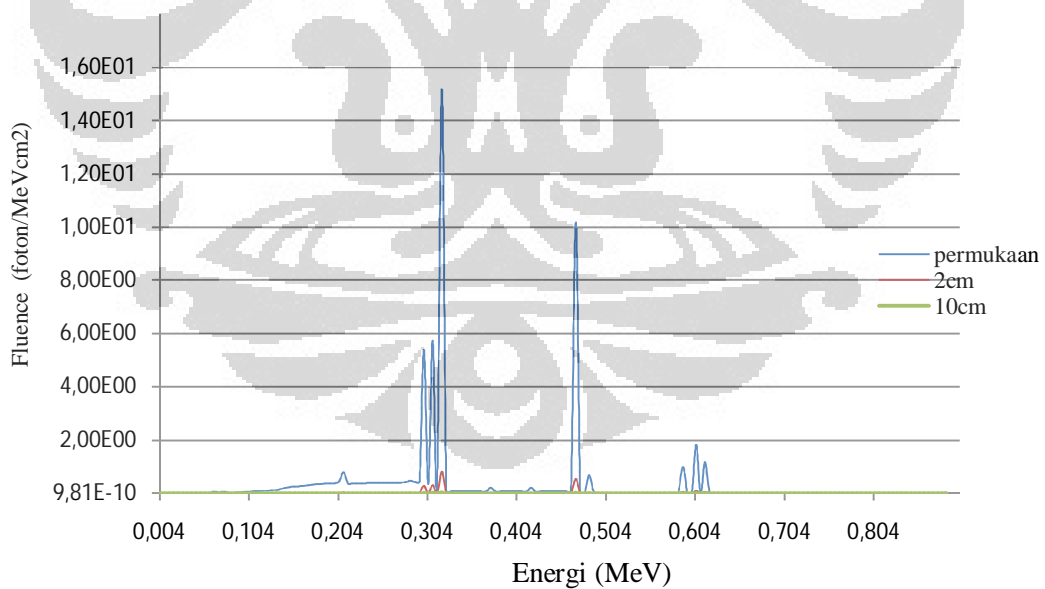
Fluence sumber Iridium-192 di vacuum dapat dilihat pada gambar 4.1. Jika diamati terjadi *peak* pada energi 0,065, 0,07, 0,08, 0,21, 0,3, 0,31, 0,32, 0,47, 0,485, 0,59, 0,605, 0,615 MeV. Hal ini disebabkan pada energi tersebut probabilitas radioaktivitas lebih tinggi dibandingkan pada energi yang lain. *Fluence* foton di vacuum tertinggi berada di energi 0,32 MeV, pada jarak 0,46 dari sumber Ir-192 yaitu 15,2 (foton/MeV cm²). Pada gambar 4.1 puncak spektrum pada jarak berikutnya 2 cm dan 10 cm tidak bergeser, hal ini menunjukkan bahwa tidak ada interaksi dalam medium vacuum. Penurunan intensitas foton pada jarak 0,46 cm, 2 cm, dan 10 cm cukup signifikan, namun secara keseluruhan intensitas akan semakin berkurang dengan penambahan jarak dan penurunan intensitas yang berhubungan langsung dengan dosis untuk setiap energi mengikuti pola *inverse square law*.

Tabel 4.1 Data spektrum input untuk simulasi

bin	kinetic energy	probability	at prob	at bin
1	0.014	5.800E+00	0.9080	3
2	0.061	1.000E-30	0.0000	3
3	0.067	1.072E+01	0.5863	15
4	0.071	1.000E-30	0.0000	15
5	0.079	2.892E+00	0.4528	15
6	0.136	1.000E-30	0.0000	15
7	0.137	1.810E-01	0.0283	15
8	0.201	1.000E-30	0.0000	17
9	0.202	4.850E-01	0.0759	17
10	0.205	1.000E-30	0.0000	17
11	0.206	3.330E+00	0.5213	17
12	0.283	1.000E-30	0.0000	17
13	0.284	2.660E-01	0.0416	19
14	0.295	1.000E-30	0.0000	19
15	0.296	2.885E+01	0.5841	19
16	0.308	1.000E-30	0.0000	19
17	0.309	3.005E+01	0.3018	19
18	0.316	1.000E-30	0.0000	19
19	0.317	8.280E+01	0.6022	25
20	0.374	1.000E-30	0.0000	19
21	0.375	7.210E-01	0.1129	19
22	0.416	1.000E-30	0.0000	19
23	0.417	6.640E-01	0.1040	19
24	0.468	1.000E-30	0.0000	19
25	0.469	4.780E+01	0.7225	33
26	0.484	1.000E-30	0.0000	19
27	0.485	3.160E+00	0.4947	19
28	0.489	1.000E-30	0.0000	19
29	0.490	4.270E-01	0.0669	25
30	0.588	1.000E-30	0.0000	25
31	0.589	4.480E+00	0.7014	25
32	0.604	1.000E-30	0.0000	25
33	0.605	8.160E+00	1.0000	1
34	0.612	1.000E-30	0.0000	25
35	0.613	5.260E+00	0.8235	25
36	0.884	1.000E-30	0.0000	25
37	0.885	2.880E-01	0.0451	25

Tabel 4.2. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di Vacuum

Energi(MeV)	Fluence(foton/MeVcm ²)			Jumlah persentase intensitas fluence terhadap 0,46cm(%)	
	0,46cm(permukaan)	2 cm	10 cm	2 cm	10 cm
0,065	8,16E-02	4,04E-05	1,25E-06	4,95E-02	2,E-03
0,07	2,25E-02	1,03E-03	4,27E-05	4,60E+00	1,90E-01
0,08	2,66E-02	1,20E-03	5,02E-05	4,51E+00	1,89E-01
0,21	8,04E-01	3,56E-02	1,41E-03	4,43E+00	1,76E-01
0,3	5,39E+00	2,93E-01	1,18E-02	5,44E+00	2,18E-01
0,31	5,75E+00	3,12E-01	1,26E-02	5,42E+00	2,19E-01
0,32	1,52E+01	8,32E-01	3,30E-02	5,48E+00	2,18E-01
0,47	1,02E+01	5,49E-01	2,18E-02	5,40E+00	2,15E-01
0,485	6,92E-01	3,79E-02	1,53E-03	5,48E+00	2,21E-01
0,59	9,98E-01	5,50E-02	2,28E-03	5,51E+00	2,28E-01
0,605	1,83E+00	9,97E-02	3,82E-03	5,44E+00	2,08E-01
0,615	1,18E+00	6,44E-02	2,61E-03	5,44E+00	2,21E-01



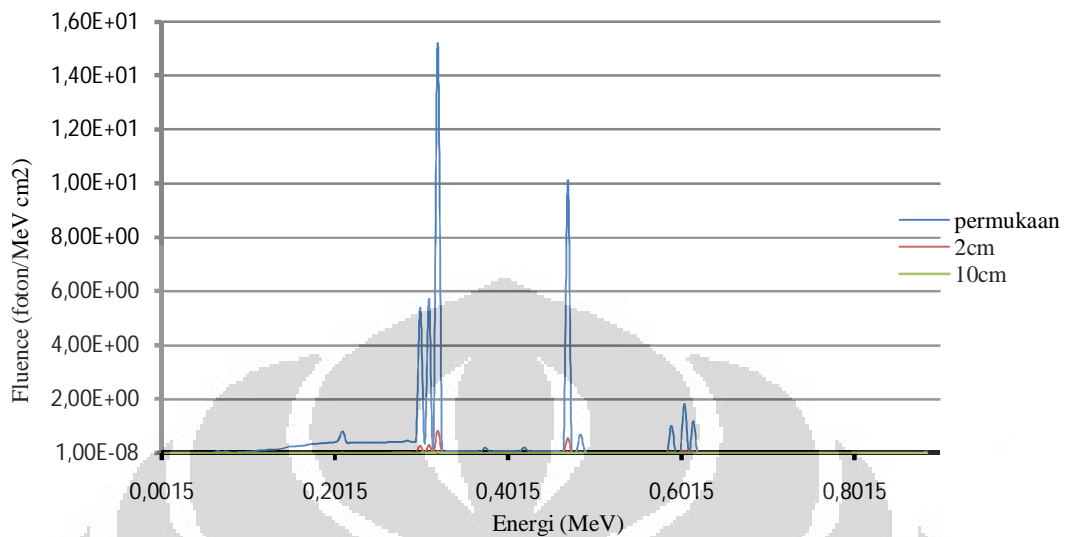
Gambar 4.1 Fluence di vacuum pada jarak yang berbeda

4.1.2 Fluence di Udara

Fluence sumber Iridium-192 di udara dapat dilihat pada gambar 4.2, puncak spektrum terjadi pada energi 0,065, 0,07, 0,08, 0,21, 0,3, 0,31, 0,32, 0,47, 0,485, 0,59, 0,605, 0,615 MeV, hampir sama pada medium vacuum. Pengaruh akibat interaksi Compton dan fotolistrik dapat terlihat dari perubahan bentuk puncak energi yang menjadi tidak diskrit. Pada daerah sekitar puncak terjadi penurunan intensitas karena spektrum pada daerah tersebut dihasilkan bukan dari peluruhan melainkan dari interaksi antara foton dengan medium (*secondary photon*). Fluence foton di udara tertinggi berada di energi 0,32 MeV, pada jarak 0,46 dari sumber Ir-192 yaitu 15,2 (foton/MeV cm²). Pada gambar 4.2 puncak pada jarak berikutnya 2 cm dan 10 cm bergeser sedikit, hal ini menunjukkan bahwa mulai ada interaksi dalam medium udara. Penurunan intensitas fluence di udara juga tidak berbeda jauh dengan di vacuum.

Tabel 4.3. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di udara

Energi(MeV)	Fluence(foton/MeVcm ²)			Jumlah persentase intensitas fluence terhadap 0,46cm(%)	
	0,46 cm	2 cm	10 cm	2 cm	10 cm
0,065	8,56E-02	4,54E-03	1,70E-04	5,30E+00	1,99E-01
0,07	2,33E-02	1,06E-03	4,03E-05	4,56E+00	1,73E-01
0,08	2,70E-02	1,22E-03	4,75E-05	4,51E+00	1,76E-01
0,21	8,03E-01	3,58E-02	1,44E-03	4,46E+00	1,80E-01
0,3	5,39E+00	2,92E-01	1,17E-02	5,41E+00	2,16E-01
0,31	5,73E+00	3,09E-01	1,24E-02	5,40E+00	2,16E-01
0,32	1,52E+01	8,29E-01	3,31E-02	5,45E+00	2,18E-01
0,47	1,01E+01	5,52E-01	2,21E-02	5,45E+00	2,18E-01
0,485	6,88E-01	3,75E-02	1,52E-03	5,45E+00	2,21E-01
0,59	1,01E+00	5,56E-02	2,18E-03	5,50E+00	2,16E-01
0,605	1,83E+00	1,00E-01	4,01E-03	5,46E+00	2,18E-01
0,615	1,18E+00	6,39E-02	2,59E-03	5,43E+00	2,20E-01



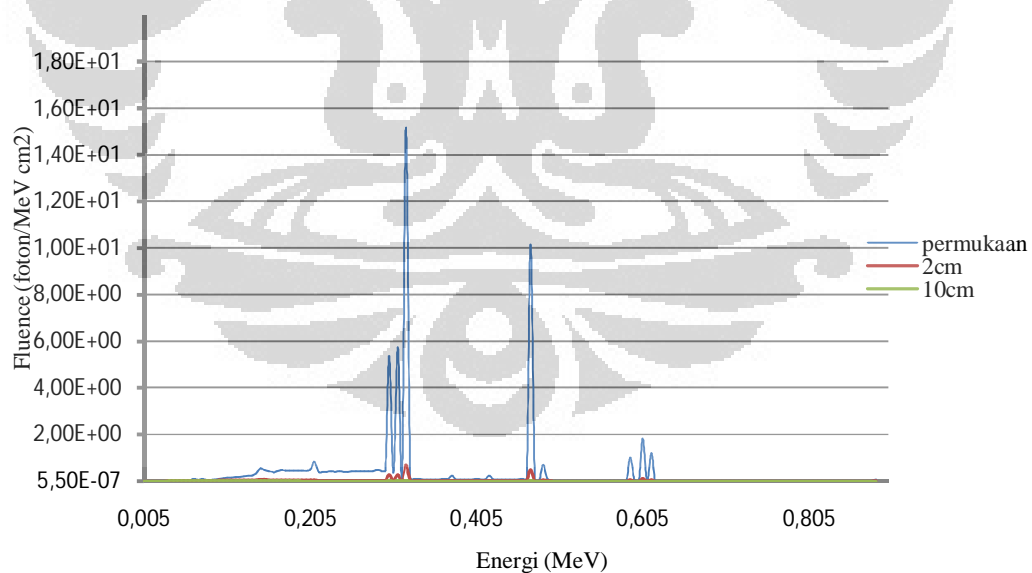
Gambar 4.2 *Fluence* di udara pada jarak yang berbeda

4.1.3 *Fluence* di Air

Pada gambar 4.3 puncak fluence dalam medium air tidak jauh berbeda dengan medium udara. Pada interval energi rendah penurunan intensitas foton di air cukup besar. *Fluence* foton terbesar di air berada di energi 0,32 MeV, pada jarak 0,46 dari sumber Ir-192 yaitu 15,2 (foton/MeV cm²). Penurunan intensitas yang tinggi terjadi karena densitas air yang lebih besar dibandingkan dengan densitas udara. Puncak spektrum pada energi dibawah 0,32 MeV terlihat lebih lebar. Akibat atenuasi medium air, puncak spektrum energi rendah tampak menghilang dan hanya puncak energi tinggi yang tampak.. Hal ini disebabkan interaksi foton dengan medium air menghasilkan banyak foton berenergi rendah. Pada jarak lebih dari 0,46 cm terlihat *fluence* pada energi rendah lebih dominan dibandingkan dengan energi tinggi seperti pada gambar 4.3.

Tabel 4.4. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di air

Energi(MeV)	Fluence(foton/MeVcm ²)			Jml persentase intensitas fluence terhadap 0,46cm(%)	
	0,46 cm(permukaan)	2 cm	10 cm	2 cm	10 cm
0,065	1,00E-01	2,41E-02	8,50E-03	2,41E+01	8,49E+00
0,07	4,22E-02	2,28E-02	7,96E-03	5,39E+01	1,89E+01
0,08	5,35E-02	2,64E-02	7,39E-03	4,93E+01	1,38E+01
0,21	8,21E-01	4,67E-02	2,01E-03	5,68E+00	2,45E-01
0,3	5,38E+00	2,54E-01	4,71E-03	4,72E+00	8,75E-02
0,31	5,74E+00	2,69E-01	4,89E-03	4,68E+00	8,53E-02
0,32	1,52E+01	6,98E-01	1,13E-02	4,60E+00	7,44E-02
0,47	1,02E+01	4,77E-01	8,81E-03	4,69E+00	8,67E-02
0,485	6,91E-01	3,23E-02	6,58E-04	4,67E+00	9,53E-02
0,59	1,01E+00	4,75E-02	1,01E-03	4,69E+00	1,00E-01
0,605	1,82E+00	9,06E-02	1,71E-03	4,97E+00	9,38E-02
0,615	1,18E+00	5,53E-02	1,04E-03	4,67E+00	8,80E-02



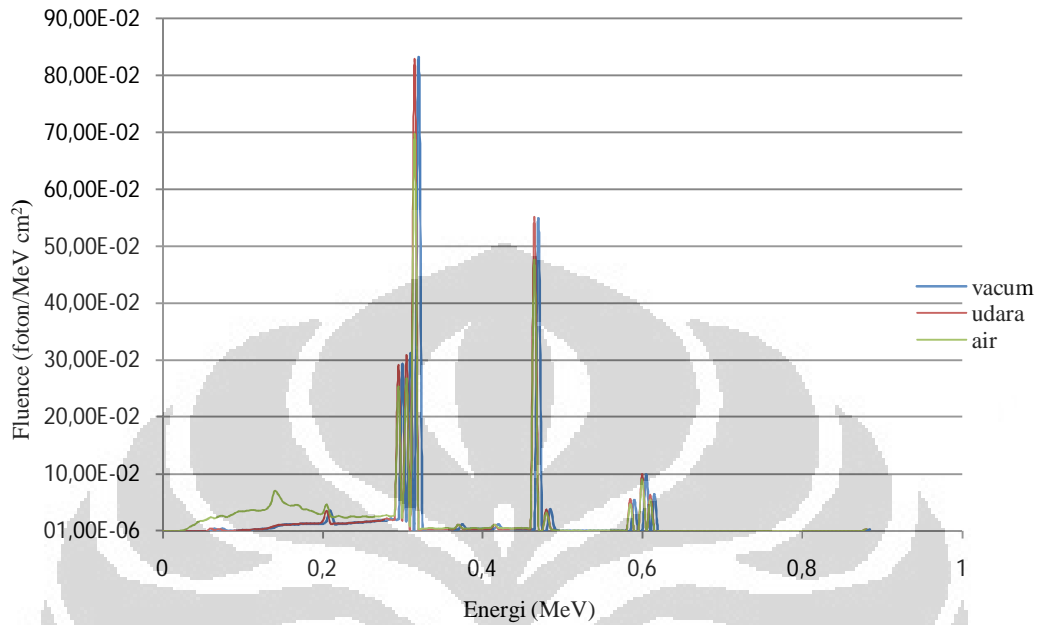
Gambar 4.3 Fluence di air pada jarak yang berbeda

4.1.4 Perbandingan fluence di vacum, udara dan air pada jarak 2 cm

Perbandingan antara nilai fluence di vacum, udara dan air pada jarak 2 cm ditunjukkan pada gambar 4.4. Terlihat bahwa penurunan intensitas di air lebih besar dibandingkan dengan udara. Penurunan fluence foton pada medium air terlihat cenderung lebih dominan karena di medium air terjadi lebih banyak interaksi dibandingkan dengan medium udara dan vacum. Puncak spektrum energi rendah berkurang lebih cepat dibandingkan dengan energi tinggi, tetapi semakin jauh dari sumber, intensitas fluence energi rendah tampak lebih besar. Penurunan energi rendah pada medium air tidak secepat penurunan pada medium udara dan vacum seperti pada gambar 4.4, hal ini disebabkan banyaknya kontribusi energi rendah dari interaksi foton dengan medium air. Berkurangnya fluence energi tinggi pada medium air terlihat lebih cepat dibandingkan dengan medium udara karena foton energi tinggi lebih banyak berinteraksi dengan medium air. Nampak bahwa pada medium air, persentase energi rendah lebih besar dibandingkan medium udara dan vacum.

Tabel.4.5 Jumlah (%) intensitas fluence pada jarak 2 cm

Energi(MeV)	Fluence(foton/MeVcm ²)		
	Vacum	Udara	Air
0-0,065	1,59E-01	1,66E-01	2,72E+00
0,065-0,07	3,51E-02	3,62E-02	5,97E-01
0,07-0,08	1,67E-01	1,65E-01	1,36E+00
0,08-0,21	7,83E+00	7,87E+00	2,72E+01
0,21-0,3	1,95E+01	1,94E+01	1,81E+01
0,3-0,31	1,12E+01	1,11E+01	7,65E+00
0,31-0,32	2,87E+01	2,87E+01	1,88E+01
0,32-0,47	2,28E+01	2,29E+01	1,68E+01
0,47-0,485	1,35E+00	1,34E+00	9,21E-01
0,485-0,59	2,56E+00	2,58E+00	1,88E+00
0,59-0,605	3,43E+00	3,45E+00	2,42E+00
0,605-0,615	2,20E+00	2,18E+00	1,46E+00
Jumlah	9,99E+01	9,99E+01	9,99E+01



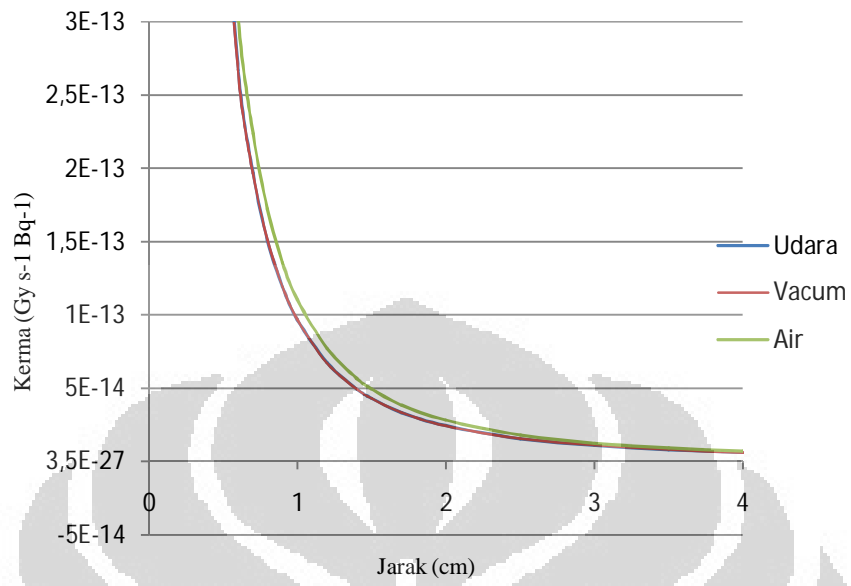
Gambar 4.4 *Fluence* pada jarak 2 cm dari sumber

4.2 Kerma di udara dan vacuum

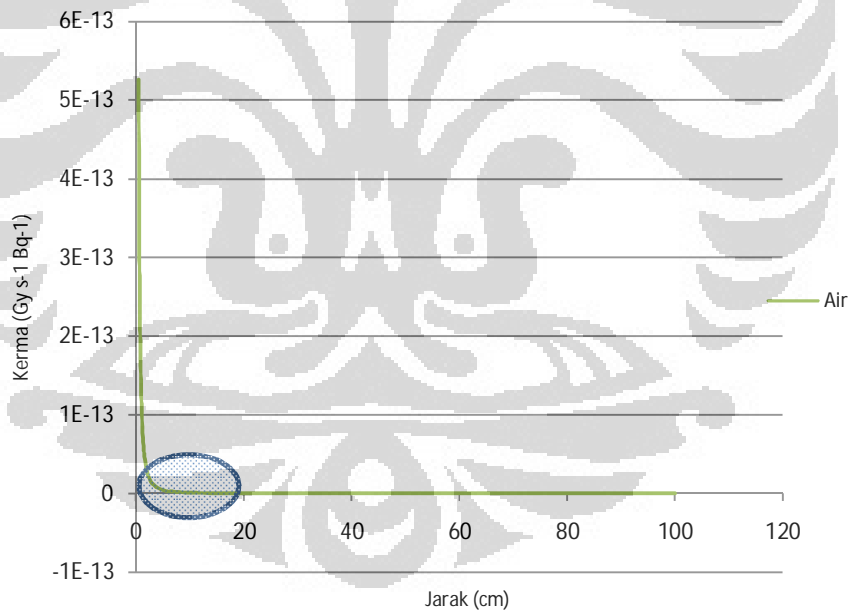
Nilai kerma dalam medium udara dan vacuum hasil simulasi ada pada tabel dan gambar 4.5. Berdasarkan persamaan yang digunakan (3.4), dapat diamati bahwa semakin besar atau jauh jarak dari sumber maka semakin kecil nilai kerma karena intensitas foton berbanding terbalik dengan kuadrat jarak, sesuai dengan hukum kuadrat terbalik Newton⁶, dinyatakan pada persamaan (4.1).

$$\text{Intensitas} \equiv 1/d^2 \quad (4.1)$$

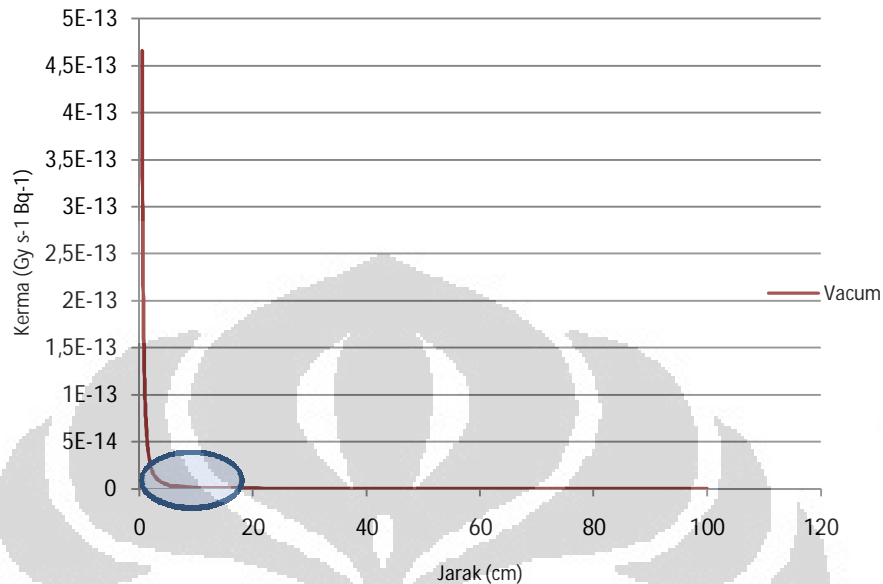
Kerma di udara dan vacuum pada jarak 1 cm dari sumber adalah 2,28E-13 (Gy s⁻¹) dan 2,28E-13 (Gy s⁻¹) memiliki pola penurunan yang sama.



Gambar 4.5 Grafik Kerma di vacum dan air



Gambar 4.6 Grafik Kerma di air



Gambar 4.7 Grafik Kerma di vacuum

4.3 Kerma di Air (Dosis Serap)

Pada gambar 4.6 kerma di air (Dosis Serap) memiliki grafik yang lebih rendah pada jarak 30 cm sampai 100 cm daripada udara dan vacuum karena foton sumber Iridium-192 mengalami interaksi terhadap medium air lebih banyak, maka semakin jauh dari sumber kerma semakin turun, karena densitas air yang lebih besar dibandingkan udara yaitu 1000 kg/m^3 sedangkan udara $1,29 \text{ kg/m}^3$ dan perbedaan kerma di vacuum dan air 12%-13% tetapi keduanya hampir sama setelah jarak 3 cm. Kerma yang diperoleh di air pada jarak 1 cm dari sumber yaitu $2,61\text{E-}13 \text{ (Gy m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1}\text{)}$.

Tabel 4.6. Kerma dan Kuat Kerma per Aktivitas di medium udara, vacuum dan air

Energi(MeV)	Kerma($\text{Gy s}^{-1}\text{Bq}^{-1}$)			Sk/A (U Bq^{-1})		
	Udara	Vacum	Air	Udara	Vacum	Air
0,46	1,1E-12	1,1E-12	1,24E-12	8,37E-08	8,37E-08	9,46E-08
1	2,28E-13	2,28E-13	2,61E-13	8,22E-08	8,22E-08	9,385E-08
1,5	1,02E-13	1,02E-13	1,16E-13	8,22E-08	8,23E-08	9,43E-08
2	5,7E-14	5,71E-14	6,63E-14	8,21E-08	8,22E-08	9,55E-08
2,5	3,65E-14	3,64E-14	4,23E-14	8,21E-08	8,2E-08	9,509E-08
3	2,53E-14	2,53E-14	2,93E-14	8,2E-08	8,21E-08	9,489E-08
4	1,42E-14	1,42E-14	1,66E-14	8,2E-08	8,2E-08	9,587E-08
5	9,1E-15	9,09E-15	1,06E-14	8,19E-08	8,18E-08	9,583E-08
5,5	6,32E-15	6,34E-15	7,37E-15	8,19E-08	8,21E-08	9,55E-08
7	4,64E-15	4,65E-15	5,34E-15	8,18E-08	8,21E-08	9,423E-08
10	2,27E-15	2,27E-15	2,52E-15	8,18E-08	8,16E-08	9,056E-08
20	5,66E-16	5,7E-16	4,65E-16	8,15E-08	8,21E-08	6,698E-08
30	2,52E-16	2,52E-16	1,26E-16	8,18E-08	8,18E-08	4,074E-08
50	9,09E-17	9,02E-17	1,27E-17	8,18E-08	8,12E-08	1,14E-08
100	2,27E-17	2,28E-17	5,72E-20	8,16E-08	8,19E-08	2,059E-10
Rata- rata				8,2E-08	8,21E-08	7,73E-08

4.4 Kuat Kerma per Aktivitas (Sk/A) di Udara dan Vacuum

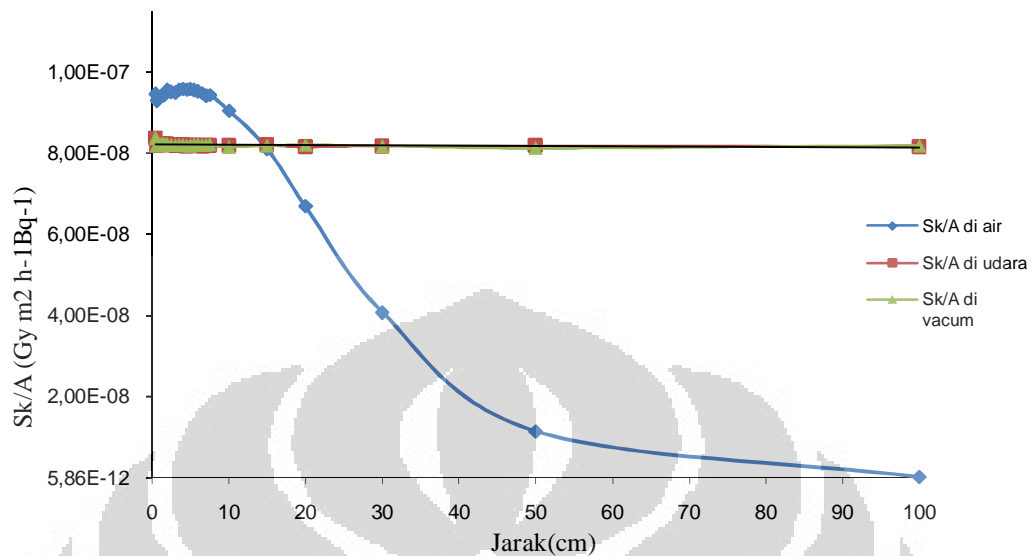
Untuk mendapatkan nilai Kuat kerma per aktivitas dalam simulasi ini digunakan persamaan (3.5). Nilai rata-rata kuat kerma per aktivitas yang diperoleh dalam medium udara yaitu $8,20\text{E-}08 \text{ U Bq}^{-1}$ dan Kuat kerma per aktivitas yang diperoleh di vacuum $8,21\text{E-}08 \text{ U Bq}^{-1}$. Pada gambar 4.2, mulai 0,46 cm dari sumber kuat kerma per aktivitas di udara cenderung tidak stabil, namun perbedaannya hanya sedikit hingga pada jarak 100 cm. Pada jarak yang sangat jauh kuat kerma akan cenderung konstan. Daerah tersebut merupakan daerah yang ideal untuk melakukan kalibrasi kekuatan atau aktivitas sumber karena pada posisi di dalam daerah konstan nilai kuat kerma akan cenderung stabil dan dapat mengurangi kesalahan penempatan detektor. Bila dibandingkan antara kuat kerma per aktivitas di udara $8,19\text{E-}08$ pada

jarak 10 cm dari sumber dengan referensi PIRS-629r, maka deviasinya sebesar 15,73%.

4.5 Kuat Kerma per Aktivitas di Air (Kuat Dosis Serap per Aktivitas)

Kuat dosis serap di air pada gambar 4.8 terjadi kenaikan yang cukup besar mulai pada jarak 1 cm sampai 5 cm dari sumber walaupun ada beberapa nilai yang mengalami penurunan sedikit. Kemudian mulai pada jarak 5,5 cm sampai 100 cm terjadi penurunan yang sangat cepat hingga mendekati sumbu-x. Dalam medium air faktor densitas sangat mempengaruhi hamburan foton yang keluar dari sumber Iridium-192. Dari gambar 4.6 jelas bahwa daerah yang cukup efektif untuk pemberian radiasi sumber brakiterapi adalah pada jarak di bawah 5,5 cm, karena pada jarak yang lebih jauh dosis yang diberikan sudah tidak tinggi. Rata-rata kuat kerma per aktivitas dalam medium air adalah $8,47E-08 \text{ U Bq}^{-1}$ namun karena jarak yang diambil hanya beberapa maka hasilnya $7,73E-08 \text{ U Bq}^{-1}$.

Kuat kerma per aktivitas di udara cenderung stabil sedangkan di air menurun secara perlahan hingga akhirnya konstan dan mencapai nilai saturasi. Hal ini disebabkan oleh faktor densitas, medium air lebih rapat dibandingkan medium udara sehingga hamburan foton banyak berinteraksi dengan air untuk jarak terdekat dari sumber Iridium-192, menyebabkan energi foton akan turun dan banyak foton dengan energi rendah yang akan memberikan kontribusi dosis lebih besar dibandingkan dengan medium udara, selain itu berkurangnya intensitas foton karena banyak yang terserap di permukaan sumber menyebabkan grafik kuat kerma per aktivitas di air turun secara perlahan.



Gambar 4.8. Grafik Kuat Kerma per Aktivitas di vacuum, udara dan air

4.6 Konstanta Laju Dosis di Vacuum , Udara dan Air

Konstanta laju dosis yang diperoleh sebesar $3,18 \cdot 10^{-6}$ ($\text{Gy s}^{-1} \text{U}^{-1}$) dalam medium air. Dari persamaan (2.13) dapat ditentukan suatu hubungan dimana bila kuat kerma per aktivitas di udara dianggap sebagai pembanding tetap dan laju dosis di air diperbesar, maka nilai konstanta laju dosis di air akan semakin besar pula karena konstanta laju dosis sebanding dengan laju dosis (kerma) di air. Begitu pun untuk konstanta laju dosis di udara dan vacuum. Nilai untuk konstanta laju dosis di udara diperoleh dengan membagi nilai kerma pada jarak 1 cm di udara dengan rata-rata kuat kerma per aktivitas di udara dalam tabel 4.6 yaitu sebesar $2,79 \cdot 10^{-6}$ ($\text{Gy s}^{-1} \text{U}^{-1}$) dan $2,79 \cdot 10^{-6}$ ($\text{Gy s}^{-1} \text{U}^{-1}$) untuk di medium vacuum. Perbedaan yang tampak antara konstanta laju dosis di medium udara dan vacuum sangat kecil, tapi cukup besar bila dibandingkan dengan konstanta laju dosis di air. Pada tabel 4.7 nilai konstanta laju dosis pada jarak 1 cm dari sumber di air lebih besar daripada di vacuum dan udara disebabkan karena laju dosis (kerma) di air pada jarak tersebut lebih besar dari medium vacuum dan udara.

Tabel 4.7 Nilai Konstanta Laju Dosis di Udara, Vacum dan Air

Konstanta laju dosis (Gy s ⁻¹ U ⁻¹)		
Udara	Vacum	Air
2,79.10 ⁻⁶	2,79.10 ⁻⁶	3,18.10 ⁻⁶

4.7 EKSPERIMEN

Bacaan detektor pada elektrometer yang diperoleh setelah sepuluh kali pengulangan pada posisi 16 adalah $1,24 \times 10^{-11}$ nC/s. Dengan menggunakan persamaan (3.8) diperoleh $K_{(T,P)}$ sebesar 0,99, kemudian menggunakan (3.9) dan (3.10), hasil yang diperoleh :

$$\begin{aligned}
 K_R &= ((0,8 \times 41,16) + (0,2 \times 4,12)) \text{mGy/nC} \times (1,24 \times 10^{-11}) \text{ C} \times 1,001 \times 1 \times 1,009 \times \\
 & \quad (10/100)^2 \\
 &= (41,168) \text{mGy/nC} \times (1,24 \times 10^{-2}) \text{nC} \times 0,99 \times (0,1)^2 \\
 &= 50,92 \cdot 10^{-4} \text{ mGy/s} \\
 &= 18,33 \text{ mGy/h, pada jarak 1 m}
 \end{aligned}$$

Dengan persamaan (2.12) didapat kerma per aktivitas (K_R/A) sebesar $0,003 \cdot 10^{-16}$ U m⁻²Bq⁻¹ pada jarak pengukuran 10 cm. Sedangkan untuk kuat kerma per aktivitas diperoleh $0,001 \cdot 10^{-8}$ U Bq⁻¹, jika dibandingkan dengan kuat kerma per aktivitas di udara pada jarak 10 cm dalam simulasi $8,18 \text{E-}08$ U Bq⁻¹, maka perbedaannya sangat besar. Hal ini dapat disebabkan karena aktivitas yang dimaksudkan dalam protokol PIRS-629r adalah aktivitas dalam sumber aslinya, bukan aktivitas yang terukur atau *apparent activity*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

5.1.1 Simulasi

Simulasi Monte Carlo dalam penelitian ini dilakukan dalam medium vacuum, udara dan air. Pengambilan data simulasi Monte Carlo EGSnrcMP pada sumber Iridium-192 memerlukan kondisi pengukuran, bentuk geometri dan jenis material yang terlibat dalam perhitungan kemudian disesuaikan pada kondisi sesungguhnya sehingga diperoleh hasil hampir mendekati nilai sebenarnya. Hasil yang diperoleh dengan metode ini adalah :

1. Rata-rata kuat kerma per aktivitas di udara $8,2E-08 \text{ U Bq}^{-1}$ dan Kuat kerma per aktivitas di vacuum $8,21E-08 \text{ U Bq}^{-1}$, dan Kuat kerma per aktivitas di air $7,73E-08 \text{ U Bq}^{-1}$.
2. Konstanta laju dosis yang diperoleh dengan membandingkan antara laju dosis (kerma) di medium pada jarak 1 cm dari sumbu tegak dengan kuat kerma per aktivitas sumber di vacuum atau udara dan hasil yang didapat untuk medium air sebesar $3,18 \cdot 10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$, di udara $2,79 \cdot 10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$ dan $2,79 \cdot 10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \text{ U}^{-1}$ di vacuum.
3. Dari kurva kuat kerma pada medium air, jarak efektif pemberian dosis brakiterapi pada jaringan tubuh adalah lebih kecil dari 5,5 cm atau 5 cm.

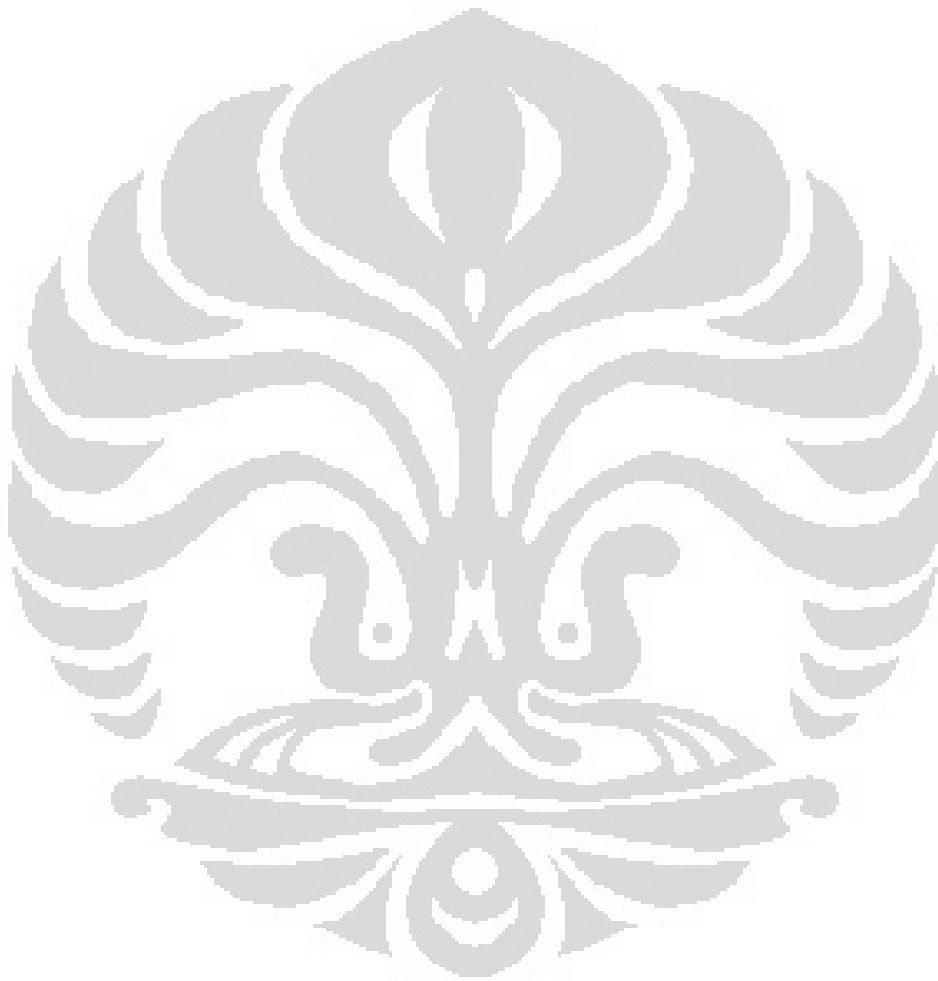
5.1.2 Eksperimen

Perbedaan yang besar antara kuat kerma per aktivitas di udara hasil pengukuran dalam eksperimen dengan hasil simulasi dapat disebabkan karena aktivitas yang dimaksudkan dalam protokol PIRS-629r adalah aktivitas dalam sumber aslinya,

bukan aktivitas yang terukur atau *apparent activity*. Sebagai informasi, hasil simulasi ulang tanpa menggunakan filter dapat diamati pada lampiran III.

5.2 Saran

Dalam eksperimen selanjutnya diuji dengan menggunakan aktivitas asli pada sumber dan menggunakan metode lain seperti : *solid phantom*, dan *well type chamber calibration* untuk mendapatkan hasil pengukuran yang paling baik.



DAFTAR REFERENSI

1. Update of AAPM Task Group No.43 Report : A Revised AAPM Protocol for Brachytherapy Dose Calculations.
2. Setiawan, Aris. 2008. Pengaruh Medium Tulang dan Paru Terhadap Persentase Dosis Kedalaman Sinar-X 6 MV Menggunakan Metode Monte Carlo. Depok .
3. Johns HE and Cunningham JR, (1983). The Physics of Radiology 4th Edition. Charles C Thomas Publisher
4. B.Duchemin and N.Coursol. *LARA-LMRI-1990, DAMRI/LMRI, CEA, France*, 1990.
5. J. Borg and D. W. O. Rogers, Monte Carlo Calculations of Photon Spectra in Air from ¹⁹²Ir Sources, NRC Report PIRS-629r ~see <http://www.irs.inms.nrc.ca/inms/irs/papers/PIRS629r/pirs629r.html>!, 1998.
6. D.Milvita,dkk . Jurnal Biofisika, Vol.2, No.1, Maret 2006 : Dosimetri Sumber Iridium-192 Bentuk Singlepin Dengan Metode Monte Carlo dalam Medium Air. P3 KRBIN, Badan Tenaga Atom Nasional (Batan), Jakarta.
7. B.Podgorsak, (2003). *Review Radiation Oncology Physics : A handbook for Teacher and Students*. IAEA Publishing.
8. Khan,M.F, (2003). *The Physics of Radiation Therapy*. Lippincot Williams and Wilkins, USA, 3 rd edition.
9. Jun Deng, Steve B Jiang, Ajay Kapur, Jinsheng Li, Todd Pawlicki, C-M Ma. Photon beam characterization and modeling for Monte Carlo treatment planning. *Phys.Med.Biol.* 45:411-427 (2000).

10. Johns HE and Cunningham JR, (1983). *The Physics of Radiology* 4th Edition. Charles C Thomas Publisher.
11. Rogers D.W.O. *Monte Carlo Techniques in Radiotherapy*. Medical Physic Special Issue, 2002, vol 58.
12. J. H. Hubbell and S. M. Seltzer. *Tables of X-ray mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients 1 keV to 20 MeV for Elements Z =1 to 92 and 48 Additional substances of Dosimetric Interest*. Technical Report NISTIR 5632, NIST, Gaithersburg, MD 20899, 1995.
13. Currie, Michael Petter, *Verification of an independent monitor unit calculation program for IMRT quality assurance*, MSc thesis (Research), School of Engineering Physics, University of Wollongong, 2007. <http://ro.uow.edu.au/theses/670>.
14. IAEA-TECDOC-1274 *Calibration of photon and beta ray sources used in brachytherapy Guidelines on standardized procedures at Secondary Standards Dosimetry Laboratories (SSDLs) and hospitals*. © IAEA, March 2002, Vienna, Austria.

LAMPIRAN I

Input FLURZnrc Sumber MicroselectronHDR dalam Medium Udara

TITLE= microselectron source brachy

#####

:start I/O control:

IWATCH= off

STORE INITIAL RANDOM NUMBERS= no

IRESTART= first

STORE DATA ARRAYS= yes

PRINT FLUENCE SPECTRA= all

IPRIMARY= electron primaries

SLOTE= 0.005

:stop I/O control:

#####

#####

:start Monte Carlo inputs:

NUMBER OF HISTORIES= 1000000000

INITIAL RANDOM NO. SEEDS= 1, 3

MAX CPU HOURS ALLOWED= 99

IFULL= dose and stoppers

STATISTICAL ACCURACY SOUGHT= 0.0000

:stop Monte Carlo inputs:

#####

#####

:start geometrical inputs:

METHOD OF INPUT= individual

Z OF FRONT FACE= 0.

DEPTH BOUNDARIES= 49.775, 49.795, 49.97, 49.98, 50.155, 50.225,
50.425, 100

RADII= 0.0325, 0.035, 0.45, 0.46, 0.595, 0.605, 0.695, 0.705, 0.795,
0.805, 0.895, 0.905, 0.995, 1.005, 1.195, 1.205, 1.395, 1.405, 1.495,
1.505, 1.695, 1.705, 1.995, 2.005, 2.495, 2.505, 2.995, 3.005, 3.495,
3.505,

3.995, 4.005, 4.495, 4.505, 4.995, 5.005, 5.495, 5.505, 5.995, 6.005,
6.495, 6.505, 6.995, 7.005, 7.495, 7.505, 7.995, 8.005, 8.495, 8.505,
8.995, 9.005, 9.995, 10.005, 11.995, 12.005, 14.995, 15.005, 17.995,
18.005,

19.995, 20.005, 24.995, 25.005, 29.995, 30.005, 34.995, 35.005,

39.995, 40.005, 44.995, 45.005, 49.995, 50.005, 69.995, 70.005,

79.995, 80.005, 89.995, 90.005, 99.995, 100.005, 1000

MEDIA= Udara,

```

Cladding,
IrCore,
steel;

DESCRIPTION BY= regions
MEDNUM= 1, 2, 3, 2, 4, 1, 2, 4, 1, 2, 1
START REGION= 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 19, 24
STOP REGION= 2, 3, 6, 7, 8, 10, 15, 16, 18, 23, 665

:stop geometrical inputs:
#####

#####
:start source inputs:

INCIDENT PARTICLE= photon
SOURCE NUMBER= 3
SOURCE OPTIONS= 0, 0.0325, 49.795, 50.155
INCIDENT ENERGY= spectrum
SPEC FILENAME= D:\HEN_HOUSE\spectra\Ir192_bare_1993.spectrum
SPEC IOUTSP= include

:stop source inputs:
#####

#####
:start MC transport parameter:

Global ECUT= 0.521
Global PCUT= 0.001
Global SMAX= 1e10
ESTEPE= 0.25
XImax= 0.5
Skin depth for BCA= 3
Boundary crossing algorithm= EXACT
Electron-step algorithm= PRESTA-II
Spin effects= on
Brems angular sampling= KM
Brems cross sections= BH
Photon cross sections= si
Electron Impact Ionization= Off
Bound Compton scattering= On
Pair angular sampling= KM
Photoelectron angular sampling= On
Rayleigh scattering= On
Atomic relaxations= On
Set PCUT= 0
Set PCUT start region= 1
Set PCUT stop region= 1
Set ECUT= 0
Set ECUT start region= 1
Set ECUT stop region= 1

```

```
Set SMAX= 0
Set SMAX start region= 1
Set SMAX stop region= 1

:stop MC transport parameter:
#####

#####
:start variance reduction:

BREM SPLITTING= on
NUMBER OF BREMS PER EVENT= 5
CHARGED PARTICLE RUSSIAN ROULETTE= on
ELECTRON RANGE REJECTION= off
ESAVEIN= 0.0
PHOTON FORCING= on
START FORCING= 1
STOP FORCING AFTER= 1

:stop variance reduction:
#####

#####
:start plot control:

PLOTTING= on
EXTERNAL PLOT TYPE= Histogram
PLOT RADIAL REGION IX= 1, 2
PLOT PLANAR REGION IZ= 10
DRAW FLUENCE PLOTS= Total
PLOTS FOR ELECTRONS= on
PLOTS FOR POSITRONS= on
PLOTS FOR PHOTONS= on
PLOTS FOR E- AND E+= on
START SPECTRAL PLOT IN REGION= 1
STOP SPECTRAL PLOT IN REGION= 1

:stop plot control:
#####
```

Input FLURZnrc Sumber MicroselectronHDR dalam Medium Vacuum

```
TITLE= microselectron source

#####
:start I/O control:

IWATCH= off
STORE INITIAL RANDOM NUMBERS= no
IRESTART= first
STORE DATA ARRAYS= yes
OUTPUT OPTIONS= long
ELECTRON TRANSPORT= normal
DOSE ZBOUND MIN= 1
DOSE ZBOUND MAX= 100
DOSE RBOUND MIN= 0
DOSE RBOUND MAX= 100

:stop I/O control:
#####

#####
:start Monte Carlo inputs:

NUMBER OF HISTORIES= 100000000
INITIAL RANDOM NO. SEEDS= 97, 33
MAX CPU HOURS ALLOWED= 999
IFULL= pulse height distribution
STATISTICAL ACCURACY SOUGHT= 0.0000
SCORE KERMA= yes

:stop Monte Carlo inputs:
#####

#####
:start pulse height distribution input:

REGION OF SENSITIVE VOLUME= 37, 53, 69
SLOTE= 0.01
DELTA E= 0.005

:stop pulse height distribution input:
#####

#####
:start geometrical inputs:
```

```

METHOD OF INPUT= individual
Z OF FRONT FACE= 0.
DEPTH BOUNDARIES= 49.775, 49.795, 49.97, 49.98, 50.155, 50.225,
50.425, 100
RADII= 0.0325, 0.035, 0.45, 0.46, 0.595, 0.605, 0.695, 0.705, 0.795,
0.805, 0.895, 0.905, 0.995, 1.005, 1.195, 1.205, 1.395, 1.405, 1.495,
1.505, 1.695, 1.705, 1.995, 2.005, 2.495, 2.505, 2.995, 3.005, 3.495,
3.505,
3.995, 4.005, 4.495, 4.505, 4.995, 5.005, 5.495, 5.505, 5.995, 6.005,
6.495, 6.505, 6.995, 7.005, 7.495, 7.505, 7.995, 8.005, 8.495, 8.505,
8.995, 9.005, 9.995, 10.005, 11.995, 12.005, 14.995, 15.005, 17.995,
18.005,
19.995, 20.005, 24.995, 25.005, 29.995, 30.005, 34.995, 35.005,
39.995, 40.005, 44.995, 45.005, 49.995, 50.005, 69.995, 70.005,
79.995, 80.005, 89.995, 90.005, 99.995, 100.005, 1000
MEDIA= Cladding,
      IrCore,
      steel;

DESCRIPTION BY= regions
MEDNUM= 1, 0, 1, 2, 1, 3, 0, 1, 3, 0, 1, 0
START REGION= 2, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 19, 24
STOP REGION= 665, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 15, 16, 18, 23, 665

:stop geometrical inputs:
#####

#####
:start source inputs:

INCIDENT PARTICLE= photon
SOURCE NUMBER= 3
SOURCE OPTIONS= 0, 0.0325, 49.795, 50.155
INCIDENT ENERGY= spectrum
SPEC FILENAME= C:\HEN_HOUSE\spectra\Ir192_bare_1993.spectrum
SPEC IOUTSP= include

:stop source inputs:
#####

#####
:start MC transport parameter:

Global ECUT= 0.521
Global PCUT= 0.001
Global SMAX= 0.5
ESTEPE= 0.25
XImax= 0.5
Skin depth for BCA= 3.0
Boundary crossing algorithm= EXACT
Electron-step algorithm= PRESTA-II

```

```
Spin effects= on
Brems angular sampling= KM
Brems cross sections= BH
Photon cross sections= si
Electron Impact Ionization= Off
Bound Compton scattering= On
Pair angular sampling= Simple
Photoelectron angular sampling= On
Rayleigh scattering= On
Atomic relaxations= On
Set PCUT= 0
Set PCUT start region= 1
Set PCUT stop region= 1
Set ECUT= 0
Set ECUT start region= 1
Set ECUT stop region= 1
Set SMAX= 0
Set SMAX start region= 1
Set SMAX stop region= 1

:stop MC transport parameter:
#####

#####
:start variance reduction:

BREM SPLITTING= on
NUMBER OF BREMS PER EVENT= 10
CHARGED PARTICLE RUSSIAN ROULETTE= on
ELECTRON RANGE REJECTION= off
ESAVEIN= 10000.0
RUSSIAN ROULETTE DEPTH= 0.0
RUSSIAN ROULETTE FRACTION= 0.0
EXPONENTIAL TRANSFORM C= 0.0
PHOTON FORCING= on
START FORCING= 1
STOP FORCING AFTER= 10
CS ENHANCEMENT FACTOR= 1
CS ENHANCEMENT START REGION= 1
CS ENHANCEMENT STOP REGION= 1

:stop variance reduction:
#####

#####
:start plot control:

PLOTTING= off

:stop plot control:
#####
```

Input FLURZnrc Sumber MicroselectronHDR dalam Medium Air

```
TITLE= microselectron source brachy

#####
:start I/O control:

IWATCH= off
STORE INITIAL RANDOM NUMBERS= no
IRESTART= first
STORE DATA ARRAYS= yes
PRINT FLUENCE SPECTRA= all
IPRIMARY= electron primaries
SLOTE= 0.005

:stop I/O control:
#####

#####
:start Monte Carlo inputs:

NUMBER OF HISTORIES= 10000000
INITIAL RANDOM NO. SEEDS= 1, 3
MAX CPU HOURS ALLOWED= 8
IFULL= dose and stoppers
STATISTICAL ACCURACY SOUGHT= 0.0000

:stop Monte Carlo inputs:
#####

#####
:start geometrical inputs:

METHOD OF INPUT= individual
Z OF FRONT FACE= 0.
DEPTH BOUNDARIES= 49.775, 49.795, 49.97, 49.98, 50.155, 50.225,
50.425, 100
RADII= 0.0325, 0.035, 0.45, 0.46, 0.595, 0.605, 0.695, 0.705, 0.795,
0.805, 0.895, 0.905, 0.995, 1.005, 1.195, 1.205, 1.395, 1.405, 1.495,
1.505, 1.695, 1.705, 1.995, 2.005, 2.495, 2.505, 2.995, 3.005, 3.495,
3.505,
3.995, 4.005, 4.495, 4.505, 4.995, 5.005, 5.495, 5.505, 5.995, 6.005,
6.495, 6.505, 6.995, 7.005, 7.495, 7.505, 7.995, 8.005, 8.495, 8.505,
8.995, 9.005, 9.995, 10.005, 11.995, 12.005, 14.995, 15.005, 17.995,
18.005,
19.995, 20.005, 24.995, 25.005, 29.995, 30.005, 34.995, 35.005,
39.995, 40.005, 44.995, 45.005, 49.995, 50.005, 69.995, 70.005,
79.995, 80.005, 89.995, 90.005, 99.995, 100.005, 1000
MEDIA= WATER,
  Cladding,
  IrCore,
  steel;
```

```

DESCRIPTION BY= regions
MEDNUM= 1, 2, 3, 2, 4, 1, 2, 4, 1, 2, 1
START REGION= 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 19, 24
STOP REGION= 2, 3, 6, 7, 8, 10, 15, 16, 18, 23, 665

:stop geometrical inputs:
#####

#####
:start source inputs:

INCIDENT PARTICLE= photon
SOURCE NUMBER= 3
SOURCE OPTIONS= 0, 0.0325, 49.795, 50.155
INCIDENT ENERGY= spectrum
SPEC FILENAME= D:\HEN_HOUSE\spectra\Ir192_bare_1993.spectrum
SPEC IOUTSP= include

:stop source inputs:
#####

#####
:start MC transport parameter:

Global ECUT= 0.521
Global PCUT= 0.001
Global SMAX= 1e10
ESTEPE= 0.25
XImax= 0.5
Skin depth for BCA= 3
Boundary crossing algorithm= EXACT
Electron-step algorithm= PRESTA-II
Spin effects= on
Brems angular sampling= KM
Brems cross sections= BH
Photon cross sections= si
Electron Impact Ionization= Off
Bound Compton scattering= On
Pair angular sampling= KM
Photoelectron angular sampling= On
Rayleigh scattering= On
Atomic relaxations= On
Set PCUT= 0
Set PCUT start region= 1
Set PCUT stop region= 1
Set ECUT= 0
Set ECUT start region= 1
Set ECUT stop region= 1
Set SMAX= 0
Set SMAX start region= 1
Set SMAX stop region= 1

```



```
:stop MC transport parameter:
#####
```

```
#####
:start variance reduction:
```

```
BREM SPLITTING= on
NUMBER OF BREMS PER EVENT= 5
CHARGED PARTICLE RUSSIAN ROULETTE= on
ELECTRON RANGE REJECTION= off
ESAVEIN= 0.0
PHOTON FORCING= on
START FORCING= 1
STOP FORCING AFTER= 1
```

```
:stop variance reduction:
#####
```

```
#####
:start plot control:
```

```
PLOTTING= on
EXTERNAL PLOT TYPE= Histogram
PLOT RADIAL REGION IX= 1, 2
PLOT PLANAR REGION IZ= 10
DRAW FLUENCE PLOTS= Total
PLOTS FOR ELECTRONS= on
PLOTS FOR POSITRONS= on
PLOTS FOR PHOTONS= on
PLOTS FOR E- AND E+= on
START SPECTRAL PLOT IN REGION= 1
STOP SPECTRAL PLOT IN REGION= 1
```

```
:stop plot control:
#####
```

MONTE CARLO TRANSPORT AND SCATTER CONTROLS

```
-----
-----
Max # of histories to run          600000000
Max # of histories to analyze      600000000
Incident charge                    0
Spectrum file and title:
```

```
/home/dosimetri/HEN_HOUSE/spectra/Ir192_bare_1993.spectrum
  192-Ir spectrum; Duchemin and Coursol 1993
Average spectrum energy is        0.3452
Counts/bin assumed
```

Energy dist'n, # of incident energy bins 37
 Lower energy of first bin: 0.007 (MeV)

bin	kinetic energy	probability	at prob	at bin
1	0.014	5.800E+00	0.9080	3
2	0.061	1.000E-30	0.0000	3
3	0.067	1.072E+01	0.5863	15
4	0.071	1.000E-30	0.0000	15
5	0.079	2.892E+00	0.4528	15
6	0.136	1.000E-30	0.0000	15
7	0.137	1.810E-01	0.0283	15
8	0.201	1.000E-30	0.0000	17
9	0.202	4.850E-01	0.0759	17
10	0.205	1.000E-30	0.0000	17
11	0.206	3.330E+00	0.5213	17
12	0.283	1.000E-30	0.0000	17
13	0.284	2.660E-01	0.0416	19
14	0.295	1.000E-30	0.0000	19
15	0.296	2.885E+01	0.5841	19
16	0.308	1.000E-30	0.0000	19
17	0.309	3.005E+01	0.3018	19
18	0.316	1.000E-30	0.0000	19
19	0.317	8.280E+01	0.6022	25
20	0.374	1.000E-30	0.0000	19
21	0.375	7.210E-01	0.1129	19
22	0.416	1.000E-30	0.0000	19
23	0.417	6.640E-01	0.1040	19
24	0.468	1.000E-30	0.0000	19
25	0.469	4.780E+01	0.7225	33
26	0.484	1.000E-30	0.0000	19
27	0.485	3.160E+00	0.4947	19
28	0.489	1.000E-30	0.0000	19
29	0.490	4.270E-01	0.0669	25
30	0.588	1.000E-30	0.0000	25
31	0.589	4.480E+00	0.7014	25
32	0.604	1.000E-30	0.0000	25
33	0.605	8.160E+00	1.0000	1
34	0.612	1.000E-30	0.0000	25
35	0.613	5.260E+00	0.8235	25
36	0.884	1.000E-30	0.0000	25
37	0.885	2.880E-01	0.0451	25



LAMPIRAN II

Fluence foton pada jarak yang berbeda di vacuum

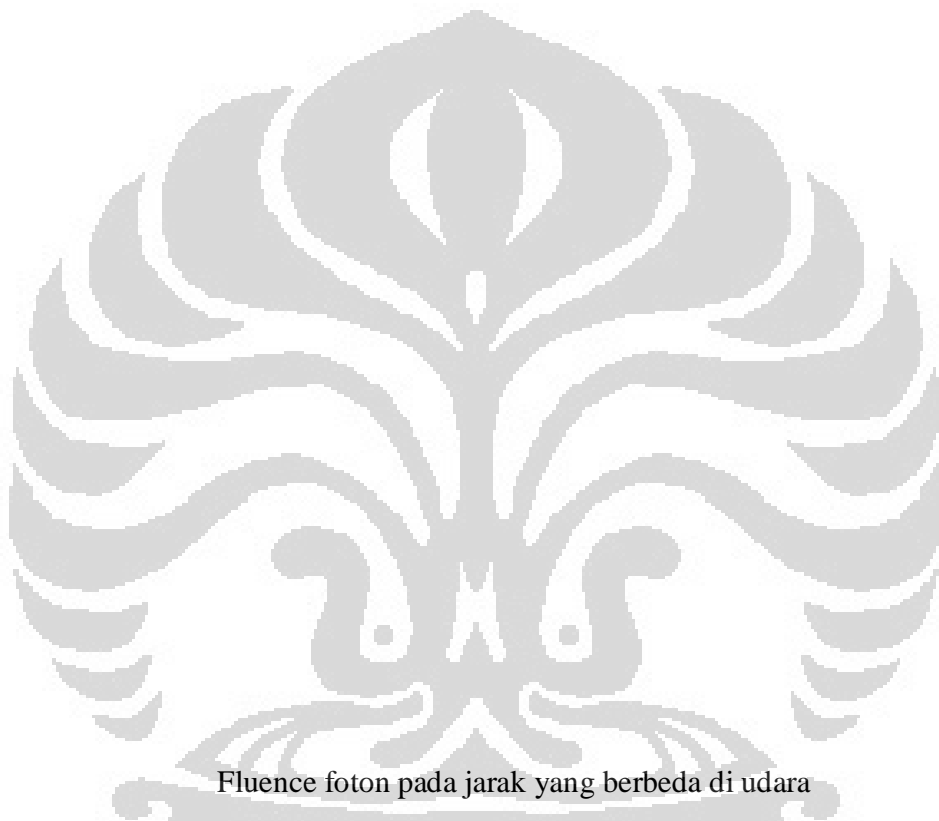
Fluence foton(foton/MeVcm ²)			
Energi (MeV)	0,46cm	2cm	10cm
0	0	0	0
0,005	4,10E-05	4,89E-08	2,77E-13
0,01	1,80E-03	3,06E-05	9,06E-07
0,015	1,00E-04	2,61E-06	1,93E-09

0,02	1,16E-03	1,21E-05	5,17E-07
0,025	2,73E-04	5,24E-06	1,92E-08
0,03	2,05E-04	1,21E-06	7,88E-08
0,035	3,90E-04	1,30E-05	1,65E-07
0,04	4,65E-04	8,39E-06	3,55E-07
0,045	5,27E-04	8,51E-06	2,79E-07
0,05	7,17E-04	1,66E-05	5,44E-07
0,055	1,60E-03	4,04E-05	1,25E-06
0,06	5,01E-03	1,35E-04	4,32E-06
0,065	8,16E-02	4,39E-03	1,73E-04
0,07	2,25E-02	1,03E-03	4,27E-05
0,075	6,96E-02	3,71E-03	1,51E-04
0,08	2,66E-02	1,20E-03	5,02E-05
0,085	1,50E-02	4,30E-04	1,74E-05
0,09	2,28E-02	6,96E-04	2,41E-05
0,095	3,45E-02	1,13E-03	4,30E-05
0,1	4,88E-02	1,67E-03	5,79E-05
0,105	6,29E-02	2,07E-03	8,13E-05
0,11	7,61E-02	2,44E-03	9,58E-05
0,115	8,78E-02	2,78E-03	1,08E-04
0,12	9,93E-02	3,27E-03	1,28E-04
0,125	1,10E-01	3,64E-03	1,40E-04
0,13	1,21E-01	4,17E-03	1,68E-04
0,135	1,36E-01	4,81E-03	1,82E-04
0,14	1,70E-01	6,69E-03	2,71E-04
0,145	2,14E-01	9,27E-03	3,59E-04
0,15	2,47E-01	1,09E-02	4,26E-04
0,155	2,62E-01	1,14E-02	4,71E-04
0,16	2,77E-01	1,16E-02	4,60E-04
0,165	2,90E-01	1,18E-02	4,68E-04
0,17	3,22E-01	1,22E-02	4,93E-04
0,175	3,42E-01	1,26E-02	5,00E-04
0,18	3,58E-01	1,26E-02	4,97E-04
0,185	3,71E-01	1,29E-02	5,11E-04
0,19	3,83E-01	1,28E-02	5,44E-04
0,195	3,88E-01	1,31E-02	5,23E-04
0,2	3,94E-01	1,30E-02	5,15E-04
0,205	4,56E-01	1,69E-02	6,37E-04
0,21	8,04E-01	3,56E-02	1,41E-03
0,215	3,84E-01	1,29E-02	5,16E-04
0,22	3,91E-01	1,31E-02	4,96E-04
0,225	3,88E-01	1,33E-02	5,16E-04
0,23	3,92E-01	1,35E-02	5,26E-04
0,235	3,96E-01	1,41E-02	5,25E-04
0,24	3,96E-01	1,47E-02	5,30E-04

0,245	4,00E-01	1,48E-02	5,70E-04
0,25	4,01E-01	1,56E-02	5,73E-04
0,255	4,04E-01	1,59E-02	6,03E-04
0,26	4,09E-01	1,67E-02	6,37E-04
0,265	4,09E-01	1,69E-02	6,14E-04
0,27	4,13E-01	1,78E-02	6,75E-04
0,275	4,19E-01	1,81E-02	6,83E-04
0,28	4,25E-01	1,87E-02	7,19E-04
0,285	4,76E-01	2,19E-02	8,10E-04
0,29	4,31E-01	2,01E-02	7,69E-04
0,295	4,56E-01	2,17E-02	8,45E-04
0,3	5,39E+00	2,93E-01	1,18E-02
0,305	3,55E-01	1,73E-02	6,66E-04
0,31	5,75E+00	3,12E-01	1,26E-02
0,315	2,74E-01	1,30E-02	4,98E-04
0,32	1,52E+01	8,32E-01	3,30E-02
0,325	8,20E-02	3,01E-03	1,22E-04
0,33	8,05E-02	2,94E-03	1,23E-04
0,335	8,09E-02	2,97E-03	1,26E-04
0,34	7,97E-02	3,08E-03	1,11E-04
0,345	7,94E-02	3,28E-03	1,19E-04
0,35	8,04E-02	3,16E-03	1,24E-04
0,355	7,99E-02	3,40E-03	1,26E-04
0,36	8,06E-02	3,30E-03	1,25E-04
0,365	7,95E-02	3,30E-03	1,43E-04
0,37	8,11E-02	3,47E-03	1,35E-04
0,375	2,23E-01	1,15E-02	4,33E-04
0,38	7,92E-02	3,46E-03	1,34E-04
0,385	7,81E-02	3,69E-03	1,35E-04
0,39	8,05E-02	3,64E-03	1,21E-04
0,395	8,07E-02	3,65E-03	1,60E-04
0,4	7,99E-02	3,68E-03	1,35E-04
0,405	7,99E-02	3,73E-03	1,49E-04
0,41	7,98E-02	3,71E-03	1,49E-04
0,415	8,15E-02	3,99E-03	1,42E-04
0,42	2,15E-01	1,13E-02	4,54E-04
0,425	8,13E-02	3,97E-03	1,51E-04
0,43	8,10E-02	3,94E-03	1,48E-04
0,435	8,01E-02	3,99E-03	1,68E-04
0,44	8,17E-02	4,01E-03	1,62E-04
0,445	8,21E-02	4,17E-03	1,64E-04
0,45	8,26E-02	4,22E-03	1,64E-04
0,455	8,07E-02	4,29E-03	1,69E-04
0,46	8,32E-02	4,12E-03	1,56E-04
0,465	7,98E-02	4,01E-03	1,53E-04

0,47	1,02E+01	5,49E-01	2,18E-02
0,475	1,83E-02	9,18E-04	3,27E-05
0,48	1,90E-02	8,46E-04	3,63E-05
0,485	6,92E-01	3,79E-02	1,53E-03
0,49	1,08E-01	5,71E-03	2,35E-04
0,495	1,45E-02	7,34E-04	3,04E-05
0,5	1,43E-02	6,77E-04	2,65E-05
0,505	1,49E-02	7,02E-04	2,96E-05
0,51	1,46E-02	7,62E-04	3,50E-05
0,515	1,47E-02	7,48E-04	2,94E-05
0,52	1,48E-02	8,07E-04	2,95E-05
0,525	1,49E-02	7,26E-04	2,40E-05
0,53	1,51E-02	7,51E-04	2,99E-05
0,535	1,45E-02	7,08E-04	2,37E-05
0,54	1,46E-02	7,40E-04	3,18E-05
0,545	1,48E-02	7,89E-04	2,85E-05
0,55	1,50E-02	8,23E-04	3,63E-05
0,555	1,52E-02	7,59E-04	2,35E-05
0,56	1,53E-02	8,50E-04	2,99E-05
0,565	1,58E-02	8,39E-04	2,99E-05
0,57	1,56E-02	8,32E-04	3,51E-05
0,575	1,57E-02	7,75E-04	3,19E-05
0,58	1,56E-02	8,64E-04	2,94E-05
0,585	1,57E-02	8,17E-04	3,02E-05
0,59	9,98E-01	5,50E-02	2,28E-03
0,595	1,14E-02	6,27E-04	2,02E-05
0,6	1,14E-02	6,24E-04	2,33E-05
0,605	1,83E+00	9,97E-02	3,82E-03
0,61	4,26E-03	2,31E-04	9,20E-06
0,615	1,18E+00	6,44E-02	2,61E-03
0,62	1,22E-04	6,16E-06	0,00E+00
0,625	1,02E-04	1,65E-06	0,00E+00
0,63	1,17E-04	3,45E-06	3,90E-07
0,635	1,28E-04	5,92E-06	0,00E+00
0,64	1,52E-04	1,83E-06	0,00E+00
0,645	1,61E-04	2,36E-06	3,52E-07
0,65	1,19E-04	8,80E-06	0,00E+00
0,655	1,28E-04	2,69E-06	9,81E-10
0,66	1,11E-04	7,56E-06	0,00E+00
0,665	1,44E-04	1,94E-06	6,72E-07
0,67	1,63E-04	4,59E-06	3,08E-07
0,675	1,08E-04	4,84E-06	2,34E-07
0,68	1,53E-04	2,30E-06	4,02E-09
0,685	1,01E-04	5,45E-06	4,04E-07
0,69	1,32E-04	6,32E-06	3,25E-07

0,695	1,19E-04	3,96E-06	9,36E-08
0,7	1,17E-04	5,64E-06	3,30E-07
0,705	1,54E-04	3,56E-06	3,03E-08
0,71	1,13E-04	4,79E-06	2,78E-07
0,715	9,97E-05	9,69E-06	3,50E-07
0,72	1,48E-04	3,47E-06	0,00E+00
0,725	1,44E-04	2,74E-06	0,00E+00
0,73	1,37E-04	4,13E-06	0,00E+00
0,735	9,61E-05	9,83E-06	0,00E+00
0,74	7,34E-05	6,71E-06	0,00E+00
0,745	1,46E-04	8,83E-06	1,37E-07
0,75	8,14E-05	9,86E-06	0,00E+00
0,755	1,48E-04	4,49E-06	7,26E-07
0,76	1,44E-04	9,03E-06	0,00E+00
0,765	8,63E-05	3,62E-06	2,56E-07
0,77	1,04E-04	5,00E-06	0,00E+00
0,775	1,19E-04	9,18E-06	0,00E+00
0,78	8,39E-05	4,67E-06	0,00E+00
0,785	8,80E-05	7,72E-06	6,96E-07
0,79	1,53E-04	4,93E-06	2,11E-07
0,795	1,35E-04	1,74E-06	0,00E+00
0,8	1,02E-04	6,13E-06	3,80E-07
0,805	1,16E-04	7,55E-06	3,09E-07
0,81	8,96E-05	6,21E-06	0,00E+00
0,815	1,28E-04	1,02E-05	0,00E+00
0,82	7,45E-05	4,64E-06	7,24E-07
0,825	9,47E-05	7,78E-06	0,00E+00
0,83	1,73E-04	4,86E-06	0,00E+00
0,835	1,02E-04	8,51E-06	1,01E-06
0,84	5,38E-05	1,26E-05	2,89E-07
0,845	1,56E-04	3,19E-06	5,66E-07
0,85	1,09E-04	4,79E-06	6,62E-07
0,855	1,49E-04	6,72E-06	2,66E-07
0,86	1,42E-04	1,69E-06	3,22E-07
0,865	1,06E-04	6,58E-06	0,00E+00
0,87	9,27E-05	6,69E-06	3,96E-07
0,875	6,41E-05	1,70E-05	0,00E+00
0,88	1,46E-04	6,95E-06	8,31E-07
0,885	6,68E-02	3,60E-03	1,75E-04



Fluence foton pada jarak yang berbeda di udara

Energi (MeV)	Fluence foton (foton/MeV cm ²)		
	0,46cm	2cm	10cm
0,005	3,32E-05	4,01E-06	1,63E-07
0,01	1,31E-03	2,60E-05	7,57E-07
0,015	7,52E-05	6,52E-06	2,82E-07
0,02	1,08E-03	1,94E-05	6,19E-07
0,025	1,96E-04	1,14E-05	2,61E-07
0,03	3,00E-04	2,13E-06	5,65E-07

0,035	3,72E-04	7,69E-06	4,18E-07
0,04	5,25E-04	1,38E-05	2,81E-07
0,045	6,94E-04	1,81E-05	5,11E-07
0,05	8,52E-04	1,45E-05	1,22E-06
0,055	1,52E-03	4,35E-05	3,88E-06
0,06	5,93E-03	1,66E-04	8,25E-06
0,065	8,56E-02	4,54E-03	1,70E-04
0,07	2,33E-02	1,06E-03	4,03E-05
0,075	7,16E-02	3,64E-03	1,45E-04
0,08	2,70E-02	1,22E-03	4,75E-05
0,085	1,52E-02	4,42E-04	1,78E-05
0,09	2,29E-02	7,05E-04	2,74E-05
0,095	3,41E-02	1,08E-03	4,70E-05
0,1	4,91E-02	1,65E-03	6,45E-05
0,105	6,37E-02	2,08E-03	7,73E-05
0,11	7,64E-02	2,47E-03	9,64E-05
0,115	8,81E-02	2,85E-03	1,11E-04
0,12	1,01E-01	3,36E-03	1,30E-04
0,125	1,11E-01	3,63E-03	1,43E-04
0,13	1,23E-01	4,04E-03	1,57E-04
0,135	1,37E-01	4,85E-03	1,93E-04
0,14	1,71E-01	6,67E-03	2,85E-04
0,145	2,15E-01	9,37E-03	3,89E-04
0,15	2,50E-01	1,10E-02	4,61E-04
0,155	2,63E-01	1,14E-02	4,69E-04
0,16	2,75E-01	1,14E-02	4,57E-04
0,165	2,93E-01	1,15E-02	4,69E-04
0,17	3,20E-01	1,23E-02	4,97E-04
0,175	3,45E-01	1,28E-02	4,97E-04
0,18	3,58E-01	1,29E-02	4,97E-04
0,185	3,72E-01	1,31E-02	5,41E-04
0,19	3,82E-01	1,34E-02	5,27E-04
0,195	3,89E-01	1,30E-02	5,19E-04
0,2	3,93E-01	1,31E-02	5,27E-04
0,205	4,57E-01	1,66E-02	6,60E-04
0,21	8,03E-01	3,58E-02	1,44E-03
0,215	3,87E-01	1,27E-02	4,96E-04
0,22	3,89E-01	1,29E-02	4,96E-04

0,225	3,88E-01	1,31E-02	5,04E-04
0,23	3,90E-01	1,37E-02	5,11E-04
0,235	3,93E-01	1,38E-02	5,32E-04
0,24	3,98E-01	1,45E-02	5,44E-04
0,245	4,00E-01	1,49E-02	5,68E-04
0,25	4,04E-01	1,53E-02	5,80E-04
0,255	4,06E-01	1,59E-02	6,07E-04
0,26	4,08E-01	1,65E-02	6,27E-04
0,265	4,14E-01	1,72E-02	6,60E-04
0,27	4,17E-01	1,76E-02	6,85E-04
0,275	4,21E-01	1,82E-02	7,11E-04
0,28	4,23E-01	1,87E-02	7,29E-04
0,285	4,71E-01	2,18E-02	8,48E-04
0,29	4,29E-01	2,00E-02	7,84E-04
0,295	4,52E-01	2,16E-02	8,51E-04
0,3	5,39E+00	2,92E-01	1,17E-02
0,305	3,57E-01	1,73E-02	6,66E-04
0,31	5,73E+00	3,09E-01	1,24E-02
0,315	2,73E-01	1,32E-02	4,99E-04
0,32	1,52E+01	8,29E-01	3,31E-02
0,325	8,09E-02	3,01E-03	1,11E-04
0,33	7,99E-02	3,07E-03	1,20E-04
0,335	7,99E-02	3,08E-03	1,19E-04
0,34	7,99E-02	3,20E-03	1,18E-04
0,345	8,01E-02	3,19E-03	1,24E-04
0,35	7,90E-02	3,26E-03	1,20E-04
0,355	8,02E-02	3,19E-03	1,29E-04
0,36	8,01E-02	3,36E-03	1,29E-04
0,365	7,96E-02	3,41E-03	1,31E-04
0,37	7,95E-02	3,45E-03	1,30E-04
0,375	2,22E-01	1,12E-02	4,49E-04
0,38	7,96E-02	3,41E-03	1,30E-04
0,385	7,92E-02	3,49E-03	1,33E-04
0,39	7,96E-02	3,53E-03	1,37E-04
0,395	7,94E-02	3,61E-03	1,39E-04
0,4	8,02E-02	3,69E-03	1,41E-04
0,405	8,03E-02	3,78E-03	1,45E-04
0,41	8,05E-02	3,75E-03	1,48E-04

0,415	8,03E-02	3,86E-03	1,44E-04
0,42	2,15E-01	1,12E-02	4,61E-04
0,425	8,04E-02	3,89E-03	1,57E-04
0,43	8,14E-02	3,92E-03	1,57E-04
0,435	8,20E-02	3,96E-03	1,56E-04
0,44	8,14E-02	4,06E-03	1,58E-04
0,445	8,16E-02	4,23E-03	1,66E-04
0,45	8,29E-02	4,17E-03	1,63E-04
0,455	8,25E-02	4,27E-03	1,67E-04
0,46	8,29E-02	4,23E-03	1,66E-04
0,465	7,99E-02	4,07E-03	1,62E-04
0,47	1,01E+01	5,52E-01	2,21E-02
0,475	1,93E-02	9,04E-04	3,72E-05
0,48	1,88E-02	9,32E-04	3,45E-05
0,485	6,88E-01	3,75E-02	1,52E-03
0,49	1,06E-01	5,51E-03	2,21E-04
0,495	1,46E-02	7,26E-04	2,72E-05
0,5	1,48E-02	6,92E-04	2,87E-05
0,505	1,46E-02	7,28E-04	2,70E-05
0,51	1,49E-02	7,45E-04	2,81E-05
0,515	1,46E-02	7,23E-04	2,71E-05
0,52	1,52E-02	7,46E-04	2,83E-05
0,525	1,52E-02	7,82E-04	2,89E-05
0,53	1,49E-02	7,38E-04	2,90E-05
0,535	1,48E-02	7,42E-04	2,81E-05
0,54	1,53E-02	7,46E-04	2,91E-05
0,545	1,52E-02	7,94E-04	3,25E-05
0,55	1,52E-02	7,65E-04	2,90E-05
0,555	1,53E-02	7,73E-04	3,22E-05
0,56	1,53E-02	7,84E-04	3,19E-05
0,565	1,52E-02	7,70E-04	3,47E-05
0,57	1,52E-02	8,20E-04	3,22E-05
0,575	1,56E-02	8,30E-04	3,11E-05
0,58	1,55E-02	8,05E-04	3,08E-05
0,585	1,53E-02	8,30E-04	3,25E-05
0,59	1,01E+00	5,56E-02	2,18E-03
0,595	1,13E-02	5,97E-04	2,48E-05
0,6	1,12E-02	6,01E-04	2,40E-05

0,605	1,83E+00	1,00E-01	4,01E-03
0,61	4,38E-03	2,26E-04	8,57E-06
0,615	1,18E+00	6,39E-02	2,59E-03
0,62	1,20E-04	2,82E-06	2,75E-07
0,625	1,23E-04	3,09E-06	1,91E-07
0,63	1,38E-04	3,58E-06	5,77E-07
0,635	1,32E-04	9,44E-06	1,39E-07
0,64	1,20E-04	4,63E-06	6,82E-08
0,645	1,24E-04	4,27E-06	2,44E-07
0,65	1,30E-04	5,74E-06	1,56E-07
0,655	1,07E-04	6,47E-06	3,08E-07
0,66	1,22E-04	5,66E-06	2,98E-08
0,665	1,26E-04	3,09E-06	4,09E-07
0,67	1,02E-04	6,05E-06	4,43E-07
0,675	1,29E-04	6,67E-06	2,02E-07
0,68	1,50E-04	7,46E-06	8,93E-08
0,685	1,12E-04	4,88E-06	1,50E-07
0,69	1,28E-04	1,27E-06	1,29E-07
0,695	1,16E-04	4,94E-06	5,08E-08
0,7	1,14E-04	7,91E-06	8,63E-08
0,705	1,36E-04	5,45E-06	3,83E-07
0,71	1,36E-04	8,60E-06	1,19E-07
0,715	1,17E-04	6,12E-06	2,30E-07
0,72	1,08E-04	8,16E-06	1,55E-07
0,725	1,20E-04	9,83E-06	2,94E-07
0,73	1,04E-04	8,16E-06	2,89E-07
0,735	1,16E-04	3,05E-06	2,56E-07
0,74	1,28E-04	6,34E-06	2,35E-07
0,745	1,29E-04	6,58E-06	1,52E-07
0,75	1,08E-04	6,98E-06	3,44E-07
0,755	1,19E-04	6,67E-06	2,31E-07
0,76	1,17E-04	5,91E-06	1,55E-07
0,765	1,13E-04	1,03E-05	2,91E-07
0,77	1,15E-04	1,00E-05	7,44E-08
0,775	1,21E-04	7,62E-06	3,74E-07
0,78	1,21E-04	5,52E-06	8,20E-08
0,785	1,37E-04	6,27E-06	2,17E-07
0,79	1,01E-04	5,33E-06	7,57E-08

0,795	1,27E-04	1,28E-05	2,88E-07
0,8	1,29E-04	6,38E-06	4,62E-08
0,805	1,37E-04	4,90E-06	9,33E-08
0,81	1,34E-04	6,82E-06	5,29E-07
0,815	1,21E-04	8,29E-06	1,67E-07
0,82	1,19E-04	9,38E-06	8,28E-08
0,825	1,37E-04	4,22E-06	4,91E-07
0,83	1,38E-04	3,18E-06	0,00E+00
0,835	1,47E-04	3,98E-06	2,07E-07
0,84	1,18E-04	7,27E-06	2,52E-07
0,845	1,27E-04	5,46E-06	1,63E-07
0,85	1,45E-04	2,98E-06	2,93E-07
0,855	1,25E-04	8,69E-06	7,15E-07
0,86	1,45E-04	6,76E-06	2,59E-07
0,865	1,18E-04	7,26E-06	8,54E-08
0,87	1,35E-04	5,25E-06	4,80E-07
0,875	1,28E-04	8,12E-06	2,78E-07
0,88	8,61E-05	4,94E-06	3,21E-07
0,885	6,82E-02	3,68E-03	1,45E-04

Fluence foton pada jarak yang berbeda di air

Energi (MeV)	Fluence foton (foton/MeV cm ²)		
	0,46cm	2cm	10cm
0,005	2,02E-04	0,00E+00	0,00E+00
0,01	1,48E-03	0,00E+00	0,00E+00
0,015	3,30E-04	4,40E-05	0,00E+00
0,02	1,33E-03	9,17E-05	8,30E-06
0,025	6,46E-04	3,59E-04	6,45E-05

0,03	1,40E-03	1,16E-03	6,10E-04
0,035	1,59E-03	3,72E-03	2,60E-03
0,04	5,46E-03	7,70E-03	5,06E-03
0,045	6,97E-03	1,16E-02	6,90E-03
0,05	1,15E-02	1,63E-02	7,89E-03
0,055	1,76E-02	1,84E-02	8,44E-03
0,06	2,48E-02	2,02E-02	8,50E-03
0,065	1,00E-01	2,41E-02	8,50E-03
0,07	4,22E-02	2,28E-02	7,96E-03
0,075	9,14E-02	2,55E-02	7,81E-03
0,08	5,35E-02	2,64E-02	7,39E-03
0,085	4,79E-02	2,47E-02	6,65E-03
0,09	6,56E-02	2,80E-02	6,59E-03
0,095	9,01E-02	3,06E-02	6,34E-03
0,1	1,21E-01	3,46E-02	6,21E-03
0,105	1,44E-01	3,44E-02	5,89E-03
0,11	1,54E-01	3,52E-02	5,64E-03
0,115	1,71E-01	3,60E-02	5,13E-03
0,12	1,86E-01	3,62E-02	5,10E-03
0,125	1,98E-01	3,52E-02	4,57E-03
0,13	2,18E-01	3,63E-02	4,37E-03
0,135	2,41E-01	3,84E-02	4,14E-03
0,14	3,37E-01	4,77E-02	4,04E-03
0,145	5,42E-01	7,00E-02	4,48E-03
0,15	4,66E-01	6,30E-02	4,07E-03
0,155	4,20E-01	5,20E-02	3,52E-03
0,16	3,79E-01	4,72E-02	3,56E-03
0,165	4,06E-01	4,45E-02	3,14E-03
0,17	4,63E-01	4,57E-02	3,14E-03
0,175	4,49E-01	4,51E-02	2,82E-03
0,18	4,49E-01	3,92E-02	2,86E-03
0,185	4,50E-01	3,83E-02	2,43E-03
0,19	4,42E-01	3,52E-02	2,51E-03
0,195	4,34E-01	3,27E-02	2,38E-03
0,2	4,31E-01	3,00E-02	2,09E-03
0,205	4,87E-01	3,14E-02	2,05E-03
0,21	8,21E-01	4,67E-02	2,01E-03
0,215	3,96E-01	2,68E-02	1,78E-03

0,22	3,98E-01	2,47E-02	1,77E-03
0,225	4,03E-01	2,62E-02	1,78E-03
0,23	4,07E-01	2,41E-02	1,64E-03
0,235	4,04E-01	2,37E-02	1,65E-03
0,24	4,11E-01	2,50E-02	1,71E-03
0,245	3,99E-01	2,52E-02	1,65E-03
0,25	4,00E-01	2,44E-02	1,41E-03
0,255	4,09E-01	2,52E-02	1,57E-03
0,26	4,24E-01	2,53E-02	1,53E-03
0,265	4,15E-01	2,40E-02	1,41E-03
0,27	4,09E-01	2,57E-02	1,47E-03
0,275	4,15E-01	2,55E-02	1,38E-03
0,28	4,30E-01	2,67E-02	1,29E-03
0,285	4,69E-01	2,79E-02	1,50E-03
0,29	4,38E-01	2,59E-02	1,45E-03
0,295	4,53E-01	2,89E-02	1,38E-03
0,3	5,38E+00	2,54E-01	4,71E-03
0,305	3,52E-01	2,28E-02	1,11E-03
0,31	5,74E+00	2,69E-01	4,89E-03
0,315	2,69E-01	1,80E-02	8,94E-04
0,32	1,52E+01	6,98E-01	1,13E-02
0,325	8,10E-02	4,95E-03	2,68E-04
0,33	8,81E-02	5,01E-03	3,00E-04
0,335	8,45E-02	5,21E-03	3,54E-04
0,34	7,98E-02	5,28E-03	3,03E-04
0,345	8,14E-02	4,99E-03	2,19E-04
0,35	7,59E-02	4,84E-03	2,75E-04
0,355	7,96E-02	4,97E-03	3,18E-04
0,36	7,80E-02	5,41E-03	2,82E-04
0,365	8,34E-02	4,87E-03	3,23E-04
0,37	8,14E-02	5,25E-03	3,50E-04
0,375	2,20E-01	1,15E-02	3,58E-04
0,38	7,94E-02	5,20E-03	3,02E-04
0,385	7,73E-02	5,14E-03	2,84E-04
0,39	7,88E-02	5,09E-03	2,76E-04
0,395	7,74E-02	5,53E-03	3,20E-04
0,4	7,62E-02	5,14E-03	2,49E-04
0,405	8,44E-02	5,01E-03	2,81E-04

0,41	8,23E-02	5,41E-03	2,99E-04
0,415	7,75E-02	5,37E-03	2,71E-04
0,42	2,20E-01	1,16E-02	3,87E-04
0,425	8,18E-02	5,79E-03	2,60E-04
0,43	7,87E-02	5,08E-03	3,13E-04
0,435	7,88E-02	5,76E-03	2,97E-04
0,44	8,16E-02	5,06E-03	2,61E-04
0,445	8,26E-02	5,22E-03	3,00E-04
0,45	8,23E-02	5,32E-03	2,70E-04
0,455	8,15E-02	5,19E-03	2,23E-04
0,46	8,43E-02	5,40E-03	2,85E-04
0,465	8,36E-02	5,52E-03	2,96E-04
0,47	1,02E+01	4,77E-01	8,81E-03
0,475	2,04E-02	1,45E-03	7,95E-05
0,48	2,14E-02	1,37E-03	6,08E-05
0,485	6,91E-01	3,23E-02	6,58E-04
0,49	1,08E-01	5,15E-03	1,52E-04
0,495	1,51E-02	9,14E-04	5,29E-05
0,5	1,53E-02	1,02E-03	5,33E-05
0,505	1,43E-02	1,24E-03	5,91E-05
0,51	1,32E-02	9,50E-04	5,12E-05
0,515	1,60E-02	7,35E-04	7,21E-05
0,52	1,56E-02	9,42E-04	4,23E-05
0,525	1,46E-02	1,05E-03	5,07E-05
0,53	1,54E-02	7,82E-04	4,79E-05
0,535	1,52E-02	8,68E-04	3,98E-05
0,54	1,70E-02	9,82E-04	5,18E-05
0,545	1,77E-02	1,25E-03	4,77E-05
0,55	1,70E-02	1,04E-03	4,18E-05
0,555	1,55E-02	1,12E-03	6,16E-05
0,56	1,55E-02	1,03E-03	5,89E-05
0,565	1,50E-02	9,63E-04	4,03E-05
0,57	1,39E-02	9,32E-04	6,60E-05
0,575	1,65E-02	1,08E-03	5,60E-05
0,58	1,43E-02	1,14E-03	3,84E-05
0,585	1,52E-02	8,40E-04	4,59E-05
0,59	1,01E+00	4,75E-02	1,01E-03
0,595	1,17E-02	9,17E-04	4,54E-05

0,6	1,15E-02	7,29E-04	6,00E-05
0,605	1,82E+00	9,06E-02	1,71E-03
0,61	4,58E-03	3,27E-04	1,28E-05
0,615	1,18E+00	5,53E-02	1,04E-03
0,62	4,27E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,625	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,63	1,46E-04	1,59E-05	0,00E+00
0,635	7,44E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,64	1,53E-04	0,00E+00	0,00E+00
0,645	1,31E-04	1,60E-05	0,00E+00
0,65	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,655	1,66E-04	1,60E-05	0,00E+00
0,66	1,11E-04	1,36E-05	3,56E-06
0,665	2,17E-04	0,00E+00	0,00E+00
0,67	3,31E-04	0,00E+00	0,00E+00
0,675	5,88E-05	0,00E+00	2,62E-06
0,68	5,02E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,685	1,41E-04	0,00E+00	0,00E+00
0,69	1,84E-04	0,00E+00	3,18E-06
0,695	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,7	2,65E-05	1,61E-05	2,80E-06
0,705	2,02E-04	0,00E+00	3,25E-06
0,71	9,13E-07	1,49E-05	3,18E-06
0,715	1,41E-04	3,54E-05	3,28E-06
0,72	7,56E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,725	2,81E-04	1,11E-05	0,00E+00
0,73	1,45E-04	1,18E-05	5,41E-07
0,735	2,19E-04	3,47E-06	0,00E+00
0,74	2,20E-04	3,19E-05	3,28E-06
0,745	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,75	2,85E-04	1,60E-05	0,00E+00
0,755	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,76	7,21E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,765	2,20E-04	1,59E-05	0,00E+00
0,77	7,44E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,775	1,54E-04	1,59E-05	0,00E+00
0,78	7,20E-05	1,63E-05	0,00E+00
0,785	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

0,79	7,15E-05	0,00E+00	6,38E-06
0,795	1,58E-04	0,00E+00	0,00E+00
0,8	9,65E-05	1,60E-05	0,00E+00
0,805	2,84E-04	0,00E+00	0,00E+00
0,81	2,36E-04	0,00E+00	0,00E+00
0,815	1,62E-04	2,92E-05	0,00E+00
0,82	7,10E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,825	1,42E-04	4,34E-05	0,00E+00
0,83	9,00E-05	3,19E-05	0,00E+00
0,835	1,77E-05	1,59E-05	0,00E+00
0,84	7,16E-05	1,60E-05	0,00E+00
0,845	0,00E+00	1,62E-05	0,00E+00
0,85	9,10E-05	0,00E+00	6,44E-06
0,855	1,94E-04	1,61E-05	3,18E-06
0,86	5,81E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,865	3,19E-05	3,19E-05	0,00E+00
0,87	1,42E-04	1,59E-05	0,00E+00
0,875	7,32E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,88	7,09E-05	0,00E+00	0,00E+00
0,885	7,01E-02	3,46E-03	8,60E-05

Fluence foton tiap medium pada jarak 2cm

Energi (MeV)	Fluence (foton/MeV cm ²)		
	vacum 2cm	air 2cm	udara 2cm
0	0	0	0
0,005	4,89E-08	0,00E+00	4,01E-06
0,01	3,06E-05	0,00E+00	2,60E-05
0,015	2,61E-06	4,40E-05	6,52E-06
0,02	1,21E-05	9,17E-05	1,94E-05
0,025	5,24E-06	3,59E-04	1,14E-05
0,03	1,21E-06	1,16E-03	2,13E-06

0,035	1,30E-05	3,72E-03	7,69E-06
0,04	8,39E-06	7,70E-03	1,38E-05
0,045	8,51E-06	1,16E-02	1,81E-05
0,05	1,66E-05	1,63E-02	1,45E-05
0,055	4,04E-05	1,84E-02	4,35E-05
0,06	1,35E-04	2,02E-02	1,66E-04
0,065	4,39E-03	2,41E-02	4,54E-03
0,07	1,03E-03	2,28E-02	1,06E-03
0,075	3,71E-03	2,55E-02	3,64E-03
0,08	1,20E-03	2,64E-02	1,22E-03
0,085	4,30E-04	2,47E-02	4,42E-04
0,09	6,96E-04	2,80E-02	7,05E-04
0,095	1,13E-03	3,06E-02	1,08E-03
0,1	1,67E-03	3,46E-02	1,65E-03
0,105	2,07E-03	3,44E-02	2,08E-03
0,11	2,44E-03	3,52E-02	2,47E-03
0,115	2,78E-03	3,60E-02	2,85E-03
0,12	3,27E-03	3,62E-02	3,36E-03
0,125	3,64E-03	3,52E-02	3,63E-03
0,13	4,17E-03	3,63E-02	4,04E-03
0,135	4,81E-03	3,84E-02	4,85E-03
0,14	6,69E-03	4,77E-02	6,67E-03
0,145	9,27E-03	7,00E-02	9,37E-03
0,15	1,09E-02	6,30E-02	1,10E-02
0,155	1,14E-02	5,20E-02	1,14E-02
0,16	1,16E-02	4,72E-02	1,14E-02
0,165	1,18E-02	4,45E-02	1,15E-02
0,17	1,22E-02	4,57E-02	1,23E-02
0,175	1,26E-02	4,51E-02	1,28E-02
0,18	1,26E-02	3,92E-02	1,29E-02
0,185	1,29E-02	3,83E-02	1,31E-02
0,19	1,28E-02	3,52E-02	1,34E-02
0,195	1,31E-02	3,27E-02	1,30E-02
0,2	1,30E-02	3,00E-02	1,31E-02
0,205	1,69E-02	3,14E-02	1,66E-02
0,21	3,56E-02	4,67E-02	3,58E-02
0,215	1,29E-02	2,68E-02	1,27E-02
0,22	1,31E-02	2,47E-02	1,29E-02

0,225	1,33E-02	2,62E-02	1,31E-02
0,23	1,35E-02	2,41E-02	1,37E-02
0,235	1,41E-02	2,37E-02	1,38E-02
0,24	1,47E-02	2,50E-02	1,45E-02
0,245	1,48E-02	2,52E-02	1,49E-02
0,25	1,56E-02	2,44E-02	1,53E-02
0,255	1,59E-02	2,52E-02	1,59E-02
0,26	1,67E-02	2,53E-02	1,65E-02
0,265	1,69E-02	2,40E-02	1,72E-02
0,27	1,78E-02	2,57E-02	1,76E-02
0,275	1,81E-02	2,55E-02	1,82E-02
0,28	1,87E-02	2,67E-02	1,87E-02
0,285	2,19E-02	2,79E-02	2,18E-02
0,29	2,01E-02	2,59E-02	2,00E-02
0,295	2,17E-02	2,89E-02	2,16E-02
0,3	2,93E-01	2,54E-01	2,92E-01
0,305	1,73E-02	2,28E-02	1,73E-02
0,31	3,12E-01	2,69E-01	3,09E-01
0,315	1,30E-02	1,80E-02	1,32E-02
0,32	8,32E-01	6,98E-01	8,29E-01
0,325	3,01E-03	4,95E-03	3,01E-03
0,33	2,94E-03	5,01E-03	3,07E-03
0,335	2,97E-03	5,21E-03	3,08E-03
0,34	3,08E-03	5,28E-03	3,20E-03
0,345	3,28E-03	4,99E-03	3,19E-03
0,35	3,16E-03	4,84E-03	3,26E-03
0,355	3,40E-03	4,97E-03	3,19E-03
0,36	3,30E-03	5,41E-03	3,36E-03
0,365	3,30E-03	4,87E-03	3,41E-03
0,37	3,47E-03	5,25E-03	3,45E-03
0,375	1,15E-02	1,15E-02	1,12E-02
0,38	3,46E-03	5,20E-03	3,41E-03
0,385	3,69E-03	5,14E-03	3,49E-03
0,39	3,64E-03	5,09E-03	3,53E-03
0,395	3,65E-03	5,53E-03	3,61E-03
0,4	3,68E-03	5,14E-03	3,69E-03
0,405	3,73E-03	5,01E-03	3,78E-03
0,41	3,71E-03	5,41E-03	3,75E-03

0,415	3,99E-03	5,37E-03	3,86E-03
0,42	1,13E-02	1,16E-02	1,12E-02
0,425	3,97E-03	5,79E-03	3,89E-03
0,43	3,94E-03	5,08E-03	3,92E-03
0,435	3,99E-03	5,76E-03	3,96E-03
0,44	4,01E-03	5,06E-03	4,06E-03
0,445	4,17E-03	5,22E-03	4,23E-03
0,45	4,22E-03	5,32E-03	4,17E-03
0,455	4,29E-03	5,19E-03	4,27E-03
0,46	4,12E-03	5,40E-03	4,23E-03
0,465	4,01E-03	5,52E-03	4,07E-03
0,47	5,49E-01	4,77E-01	5,52E-01
0,475	9,18E-04	1,45E-03	9,04E-04
0,48	8,46E-04	1,37E-03	9,32E-04
0,485	3,79E-02	3,23E-02	3,75E-02
0,49	5,71E-03	5,15E-03	5,51E-03
0,495	7,34E-04	9,14E-04	7,26E-04
0,5	6,77E-04	1,02E-03	6,92E-04
0,505	7,02E-04	1,24E-03	7,28E-04
0,51	7,62E-04	9,50E-04	7,45E-04
0,515	7,48E-04	7,35E-04	7,23E-04
0,52	8,07E-04	9,42E-04	7,46E-04
0,525	7,26E-04	1,05E-03	7,82E-04
0,53	7,51E-04	7,82E-04	7,38E-04
0,535	7,08E-04	8,68E-04	7,42E-04
0,54	7,40E-04	9,82E-04	7,46E-04
0,545	7,89E-04	1,25E-03	7,94E-04
0,55	8,23E-04	1,04E-03	7,65E-04
0,555	7,59E-04	1,12E-03	7,73E-04
0,56	8,50E-04	1,03E-03	7,84E-04
0,565	8,39E-04	9,63E-04	7,70E-04
0,57	8,32E-04	9,32E-04	8,20E-04
0,575	7,75E-04	1,08E-03	8,30E-04
0,58	8,64E-04	1,14E-03	8,05E-04
0,585	8,17E-04	8,40E-04	8,30E-04
0,59	5,50E-02	4,75E-02	5,56E-02
0,595	6,27E-04	9,17E-04	5,97E-04
0,6	6,24E-04	7,29E-04	6,01E-04

0,605	9,97E-02	9,06E-02	1,00E-01
0,61	2,31E-04	3,27E-04	2,26E-04
0,615	6,44E-02	5,53E-02	6,39E-02
0,62	6,16E-06	0,00E+00	2,82E-06
0,625	1,65E-06	0,00E+00	3,09E-06
0,63	3,45E-06	1,59E-05	3,58E-06
0,635	5,92E-06	0,00E+00	9,44E-06
0,64	1,83E-06	0,00E+00	4,63E-06
0,645	2,36E-06	1,60E-05	4,27E-06
0,65	8,80E-06	0,00E+00	5,74E-06
0,655	2,69E-06	1,60E-05	6,47E-06
0,66	7,56E-06	1,36E-05	5,66E-06
0,665	1,94E-06	0,00E+00	3,09E-06
0,67	4,59E-06	0,00E+00	6,05E-06
0,675	4,84E-06	0,00E+00	6,67E-06
0,68	2,30E-06	0,00E+00	7,46E-06
0,685	5,45E-06	0,00E+00	4,88E-06
0,69	6,32E-06	0,00E+00	1,27E-06
0,695	3,96E-06	0,00E+00	4,94E-06
0,7	5,64E-06	1,61E-05	7,91E-06
0,705	3,56E-06	0,00E+00	5,45E-06
0,71	4,79E-06	1,49E-05	8,60E-06
0,715	9,69E-06	3,54E-05	6,12E-06
0,72	3,47E-06	0,00E+00	8,16E-06
0,725	2,74E-06	1,11E-05	9,83E-06
0,73	4,13E-06	1,18E-05	8,16E-06
0,735	9,83E-06	3,47E-06	3,05E-06
0,74	6,71E-06	3,19E-05	6,34E-06
0,745	8,83E-06	0,00E+00	6,58E-06
0,75	9,86E-06	1,60E-05	6,98E-06
0,755	4,49E-06	0,00E+00	6,67E-06
0,76	9,03E-06	0,00E+00	5,91E-06
0,765	3,62E-06	1,59E-05	1,03E-05
0,77	5,00E-06	0,00E+00	1,00E-05
0,775	9,18E-06	1,59E-05	7,62E-06
0,78	4,67E-06	1,63E-05	5,52E-06
0,785	7,72E-06	0,00E+00	6,27E-06
0,79	4,93E-06	0,00E+00	5,33E-06

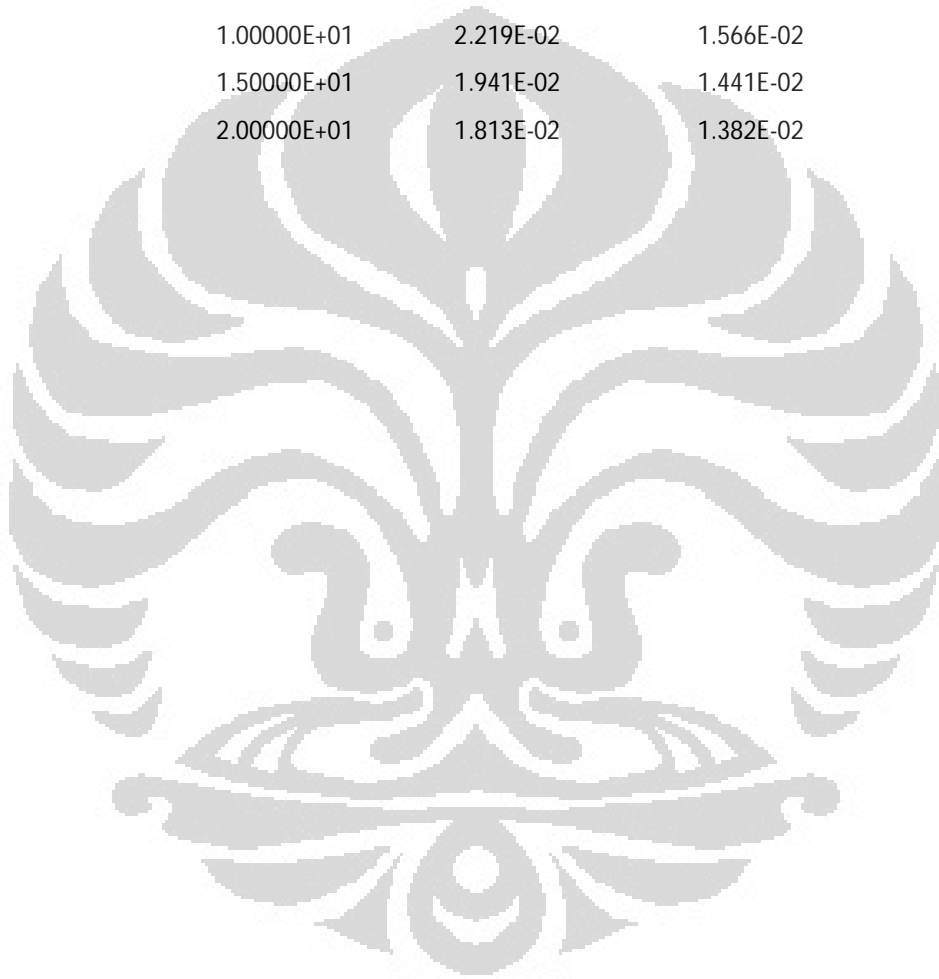


0,795	1,74E-06	0,00E+00	1,28E-05
0,8	6,13E-06	1,60E-05	6,38E-06
0,805	7,55E-06	0,00E+00	4,90E-06
0,81	6,21E-06	0,00E+00	6,82E-06
0,815	1,02E-05	2,92E-05	8,29E-06
0,82	4,64E-06	0,00E+00	9,38E-06
0,825	7,78E-06	4,34E-05	4,22E-06
0,83	4,86E-06	3,19E-05	3,18E-06
0,835	8,51E-06	1,59E-05	3,98E-06
0,84	1,26E-05	1,60E-05	7,27E-06
0,845	3,19E-06	1,62E-05	5,46E-06
0,85	4,79E-06	0,00E+00	2,98E-06
0,855	6,72E-06	1,61E-05	8,69E-06
0,86	1,69E-06	0,00E+00	6,76E-06
0,865	6,58E-06	3,19E-05	7,26E-06
0,87	6,69E-06	1,59E-05	5,25E-06
0,875	1,70E-05	0,00E+00	8,12E-06
0,88	6,95E-06	0,00E+00	4,94E-06
0,885	3,60E-03	3,46E-03	3,68E-03

X-ray mass energy-absorption coefficients (μ_{en} / ρ) di air
(NIST)
Water, Liquid

Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)
1.00000E-03	4.078E+03	4.065E+03
1.50000E-03	1.376E+03	1.372E+03
2.00000E-03	6.173E+02	6.152E+02
3.00000E-03	1.929E+02	1.917E+02
4.00000E-03	8.278E+01	8.191E+01
5.00000E-03	4.258E+01	4.188E+01
6.00000E-03	2.464E+01	2.405E+01
8.00000E-03	1.037E+01	9.915E+00
1.00000E-02	5.329E+00	4.944E+00
1.50000E-02	1.673E+00	1.374E+00
2.00000E-02	8.096E-01	5.503E-01
3.00000E-02	3.756E-01	1.557E-01
4.00000E-02	2.683E-01	6.947E-02
5.00000E-02	2.269E-01	4.223E-02
6.00000E-02	2.059E-01	3.190E-02
8.00000E-02	1.837E-01	2.597E-02
1.00000E-01	1.707E-01	2.546E-02
1.50000E-01	1.505E-01	2.764E-02
2.00000E-01	1.370E-01	2.967E-02
3.00000E-01	1.186E-01	3.192E-02
4.00000E-01	1.061E-01	3.279E-02
5.00000E-01	9.687E-02	3.299E-02
6.00000E-01	8.956E-02	3.284E-02
8.00000E-01	7.865E-02	3.206E-02
1.00000E+00	7.072E-02	3.103E-02
1.25000E+00	6.323E-02	2.965E-02

1.50000E+00	5.754E-02	2.833E-02
2.00000E+00	4.942E-02	2.608E-02
3.00000E+00	3.969E-02	2.281E-02
4.00000E+00	3.403E-02	2.066E-02
5.00000E+00	3.031E-02	1.915E-02
6.00000E+00	2.770E-02	1.806E-02
8.00000E+00	2.429E-02	1.658E-02
1.00000E+01	2.219E-02	1.566E-02
1.50000E+01	1.941E-02	1.441E-02
2.00000E+01	1.813E-02	1.382E-02

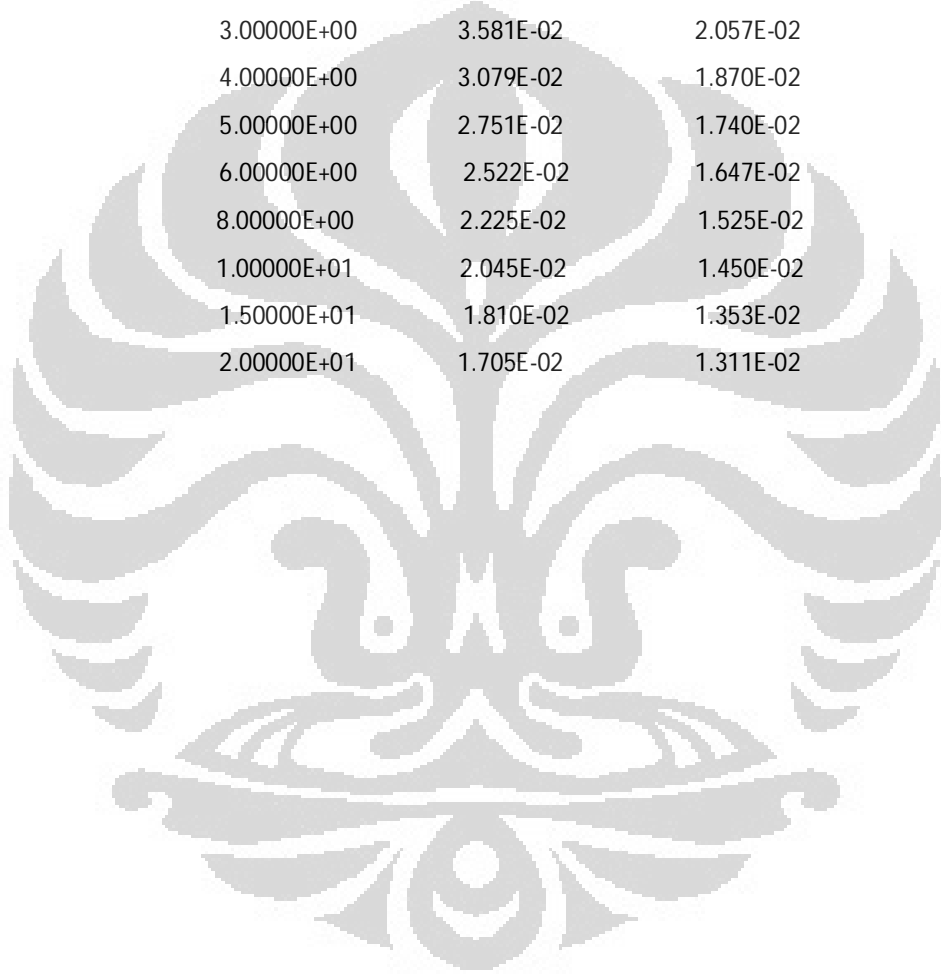


X-ray mass energy-absorption coefficients (μ_{en}/ρ) di udara kering

Air, Dry (Near Sea Level)

Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)
1.00000E-03	3.606E+03	3.599E+03
1.50000E-03	1.191E+03	1.188E+03
2.00000E-03	5.279E+02	5.262E+02
3.00000E-03	1.625E+02	1.614E+02
3.20290E-03	1.340E+02	1.330E+02
3.20290E-03	1.485E+02	1.460E+02
4.00000E-03	7.788E+01	7.636E+01
5.00000E-03	4.027E+01	3.931E+01
6.00000E-03	2.341E+01	2.270E+01
8.00000E-03	9.921E+00	9.446E+00
1.00000E-02	5.120E+00	4.742E+00
1.50000E-02	1.614E+00	1.334E+00
2.00000E-02	7.779E-01	5.389E-01
3.00000E-02	3.538E-01	1.537E-01
4.00000E-02	2.485E-01	6.833E-02
5.00000E-02	2.080E-01	4.098E-02
6.00000E-02	1.875E-01	3.041E-02
8.00000E-02	1.662E-01	2.407E-02
1.00000E-01	1.541E-01	2.325E-02
1.50000E-01	1.356E-01	2.496E-02
2.00000E-01	1.233E-01	2.672E-02
3.00000E-01	1.067E-01	2.872E-02
4.00000E-01	9.549E-02	2.949E-02

5.00000E-01	8.712E-02	2.966E-02
6.00000E-01	8.055E-02	2.953E-02
8.00000E-01	7.074E-02	2.882E-02
1.00000E+00	6.358E-02	2.789E-02
1.25000E+00	5.687E-02	2.666E-02
1.50000E+00	5.175E-02	2.547E-02
2.00000E+00	4.447E-02	2.345E-02
3.00000E+00	3.581E-02	2.057E-02
4.00000E+00	3.079E-02	1.870E-02
5.00000E+00	2.751E-02	1.740E-02
6.00000E+00	2.522E-02	1.647E-02
8.00000E+00	2.225E-02	1.525E-02
1.00000E+01	2.045E-02	1.450E-02
1.50000E+01	1.810E-02	1.353E-02
2.00000E+01	1.705E-02	1.311E-02



Tabel 4.2. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di Vacuum

Energi(MeV)	Fluence(foton/MeVcm ²)			Jumlah persentase intensitas fluence terhadap 0,46cm(%)	
	0,46cm(permukaan)	2 cm	10 cm	2 cm	10 cm
0,065	8,16E-02	4,04E-05	1,25E-06	4,95E-02	2,E-03
0,07	2,25E-02	1,03E-03	4,27E-05	4,60E+00	1,90E-01
0,08	2,66E-02	1,20E-03	5,02E-05	4,51E+00	1,89E-01
0,21	8,04E-01	3,56E-02	1,41E-03	4,43E+00	1,76E-01
0,3	5,39E+00	2,93E-01	1,18E-02	5,44E+00	2,18E-01
0,31	5,75E+00	3,12E-01	1,26E-02	5,42E+00	2,19E-01
0,32	1,52E+01	8,32E-01	3,30E-02	5,48E+00	2,18E-01
0,47	1,02E+01	5,49E-01	2,18E-02	5,40E+00	2,15E-01
0,485	6,92E-01	3,79E-02	1,53E-03	5,48E+00	2,21E-01
0,59	9,98E-01	5,50E-02	2,28E-03	5,51E+00	2,28E-01
0,605	1,83E+00	9,97E-02	3,82E-03	5,44E+00	2,08E-01
0,615	1,18E+00	6,44E-02	2,61E-03	5,44E+00	2,21E-01

Tabel 4.3. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di udara

Energi(MeV)	Fluence(foton/MeVcm ²)			Jumlah persentase intensitas fluence terhadap 0,46cm(%)	
	0,46 cm	2 cm	10 cm	2 cm	10 cm
0,065	8,56E-02	4,54E-03	1,70E-04	5,30E+00	1,99E-01
0,07	2,33E-02	1,06E-03	4,03E-05	4,56E+00	1,73E-01
0,08	2,70E-02	1,22E-03	4,75E-05	4,51E+00	1,76E-01
0,21	8,03E-01	3,58E-02	1,44E-03	4,46E+00	1,80E-01
0,3	5,39E+00	2,92E-01	1,17E-02	5,41E+00	2,16E-01
0,31	5,73E+00	3,09E-01	1,24E-02	5,40E+00	2,16E-01
0,32	1,52E+01	8,29E-01	3,31E-02	5,45E+00	2,18E-01
0,47	1,01E+01	5,52E-01	2,21E-02	5,45E+00	2,18E-01
0,485	6,88E-01	3,75E-02	1,52E-03	5,45E+00	2,21E-01
0,59	1,01E+00	5,56E-02	2,18E-03	5,50E+00	2,16E-01
0,605	1,83E+00	1,00E-01	4,01E-03	5,46E+00	2,18E-01
0,615	1,18E+00	6,39E-02	2,59E-03	5,43E+00	2,20E-01

Tabel 4.4. Fluence foton dan jumlah persentase intensitas fluence terhadap permukaan di air

Energi(MeV)	Fluence(foton/MeVcm ²)			Jml persentase intensitas fluence terhadap 0,46cm(%)	
	0,46 cm(permukaan)	2 cm	10 cm	2 cm	10 cm
0,065	1,00E-01	2,41E-02	8,50E-03	2,41E+01	8,49E+00
0,07	4,22E-02	2,28E-02	7,96E-03	5,39E+01	1,89E+01
0,08	5,35E-02	2,64E-02	7,39E-03	4,93E+01	1,38E+01
0,21	8,21E-01	4,67E-02	2,01E-03	5,68E+00	2,45E-01
0,3	5,38E+00	2,54E-01	4,71E-03	4,72E+00	8,75E-02
0,31	5,74E+00	2,69E-01	4,89E-03	4,68E+00	8,53E-02
0,32	1,52E+01	6,98E-01	1,13E-02	4,60E+00	7,44E-02
0,47	1,02E+01	4,77E-01	8,81E-03	4,69E+00	8,67E-02
0,485	6,91E-01	3,23E-02	6,58E-04	4,67E+00	9,53E-02
0,59	1,01E+00	4,75E-02	1,01E-03	4,69E+00	1,00E-01
0,605	1,82E+00	9,06E-02	1,71E-03	4,97E+00	9,38E-02
0,615	1,18E+00	5,53E-02	1,04E-03	4,67E+00	8,80E-02

Tabel.4.5 Jumlah (%) intensitas fluence pada jarak 2 cm

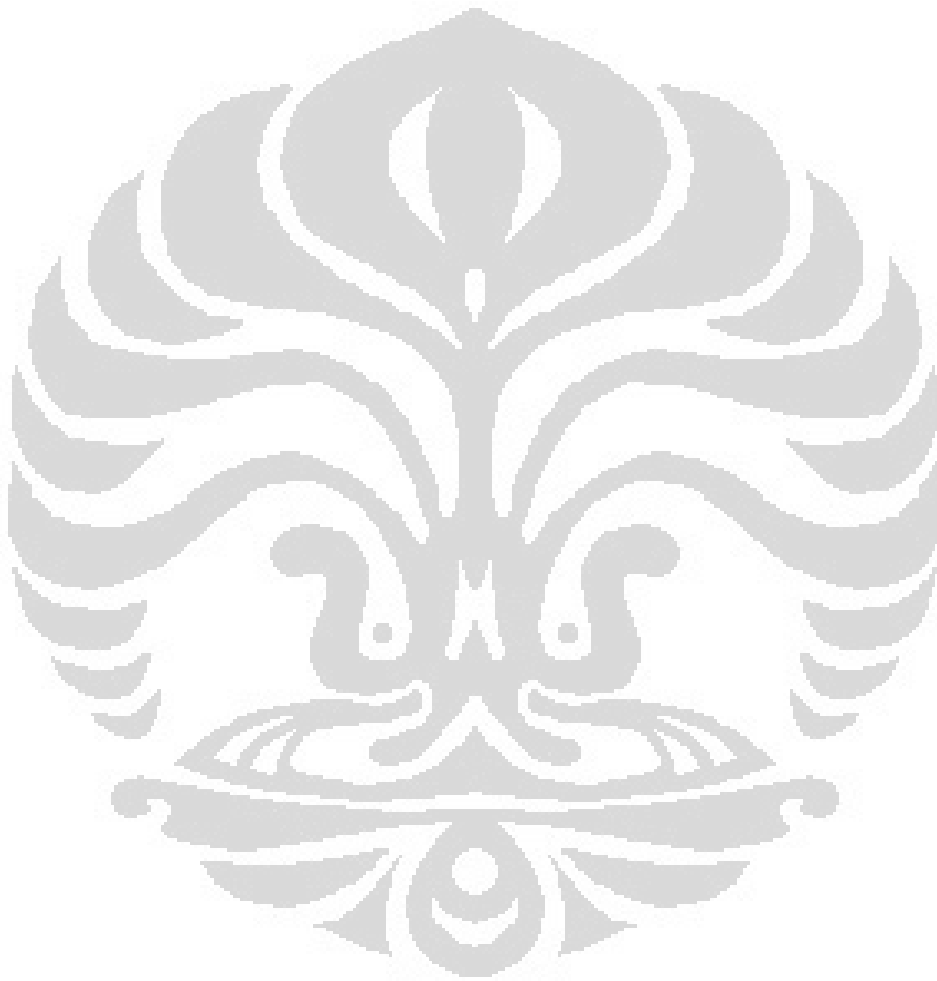
Energi(MeV)	Fluence(foton/MeVcm ²)		
	Vacum	Udara	Air
0-0,065	1,59E-01	1,66E-01	2,72E+00
0,065-0,07	3,51E-02	3,62E-02	5,97E-01
0,07-0,08	1,67E-01	1,65E-01	1,36E+00
0,08-0,21	7,83E+00	7,87E+00	2,72E+01
0,21-0,3	1,95E+01	1,94E+01	1,81E+01
0,3-0,31	1,12E+01	1,11E+01	7,65E+00
0,31-0,32	2,87E+01	2,87E+01	1,88E+01
0,32-0,47	2,28E+01	2,29E+01	1,68E+01
0,47-0,485	1,35E+00	1,34E+00	9,21E-01
0,485-0,59	2,56E+00	2,58E+00	1,88E+00
0,59-0,605	3,43E+00	3,45E+00	2,42E+00
0,605-0,615	2,20E+00	2,18E+00	1,46E+00
jumlah	9,99E+01	9,99E+01	9,99E+01

Tabel 4.6 Data perhitungan kerma dan kuat kerma per aktivitas

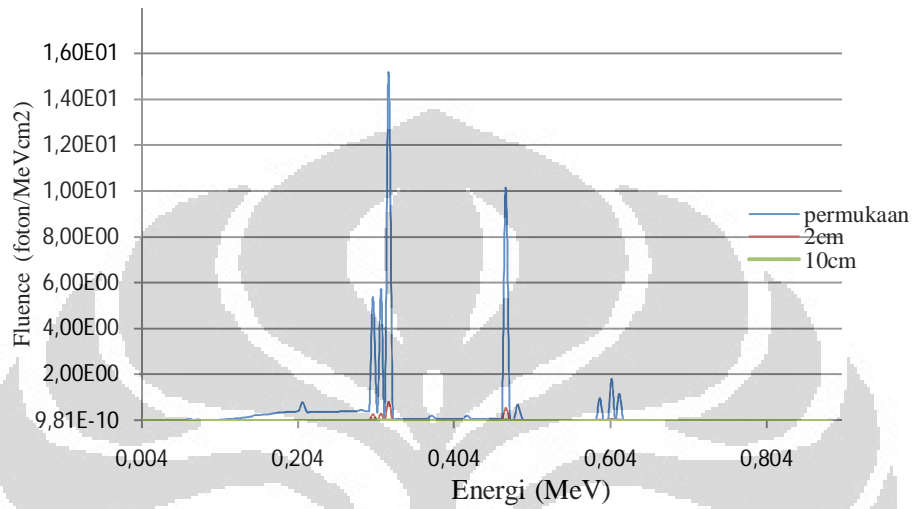
Jarak (cm)	Kerma (Gy $m^2 s^{-1} Bq^{-1}$)			Sk/A (UBq^{-1})		
	Udara	Vacum	Air	Udara	Vacum	Air
0,46	1,1E-12	1,1E-12	1,24E-12	8,37E-08	8,37E-08	9,46E-08
0,6	6,31E-13	6,32E-13	7,17E-13	8,18E-08	8,18E-08	9,29E-08
0,7	4,65E-13	4,65E-13	5,29E-13	8,2E-08	8,21E-08	9,33E-08
0,8	3,57E-13	3,56E-13	4,07E-13	8,21E-08	8,2E-08	9,38E-08
0,9	2,82E-13	2,82E-13	3,21E-13	8,21E-08	8,21E-08	9,37E-08
1	2,28E-13	2,28E-13	2,61E-13	8,22E-08	8,22E-08	9,38E-08
1,2	1,59E-13	1,59E-13	1,82E-13	8,22E-08	8,22E-08	9,43E-08
1,4	1,17E-13	1,17E-13	1,34E-13	8,22E-08	8,23E-08	9,45E-08
1,5	1,02E-13	1,02E-13	1,16E-13	8,22E-08	8,23E-08	9,43E-08
1,7	7,9E-14	7,89E-14	9,1E-14	8,22E-08	8,21E-08	9,47E-08
2	5,7E-14	5,71E-14	6,63E-14	8,21E-08	8,22E-08	9,55E-08
2,5	3,65E-14	3,64E-14	4,23E-14	8,21E-08	8,2E-08	9,51E-08
3	2,53E-14	2,53E-14	2,93E-14	8,2E-08	8,21E-08	9,49E-08
3,5	1,86E-14	1,86E-14	2,17E-14	8,2E-08	8,2E-08	9,57E-08
4	1,42E-14	1,42E-14	1,66E-14	8,2E-08	8,2E-08	9,59E-08
4,5	1,12E-14	1,12E-14	1,31E-14	8,18E-08	8,2E-08	9,57E-08
5	9,1E-15	9,09E-15	1,06E-14	8,19E-08	8,18E-08	9,58E-08
5,5	6,32E-15	6,34E-15	7,37E-15	8,19E-08	8,21E-08	9,55E-08
6	4,64E-15	4,66E-15	5,4E-15	8,18E-08	8,22E-08	9,53E-08
6,5	5,38E-15	5,4E-15	6,24E-15	8,18E-08	8,21E-08	9,49E-08
7	4,64E-15	4,65E-15	5,34E-15	8,18E-08	8,21E-08	9,42E-08
7,5	4,04E-15	4,06E-14	4,66E-15	8,19E-08	8,21E-08	9,44E-08
10	2,27E-15	2,27E-15	2,52E-15	8,18E-08	8,16E-08	9,06E-08
15	1,01E-15	1,01E-15	1E-15	8,2E-08	8,19E-08	8,10E-08
20	5,66E-16	5,7E-16	4,65E-16	8,15E-08	8,21E-08	6,70E-08
30	2,52E-16	2,52E-16	1,26E-16	8,18E-08	8,18E-08	4,07E-08
50	9,09E-17	9,02E-17	1,27E-17	8,18E-08	8,12E-08	1,14E-08
100	2,27E-17	2,28E-17	5,72E-20	8,16E-08	8,19E-08	2,06E-10
Rata-rata				8,2E-08	8,21E-08	8,48E-08

Tabel 4.7 Nilai Konstanta Laju Dosis di Udara, Vacuum dan Air

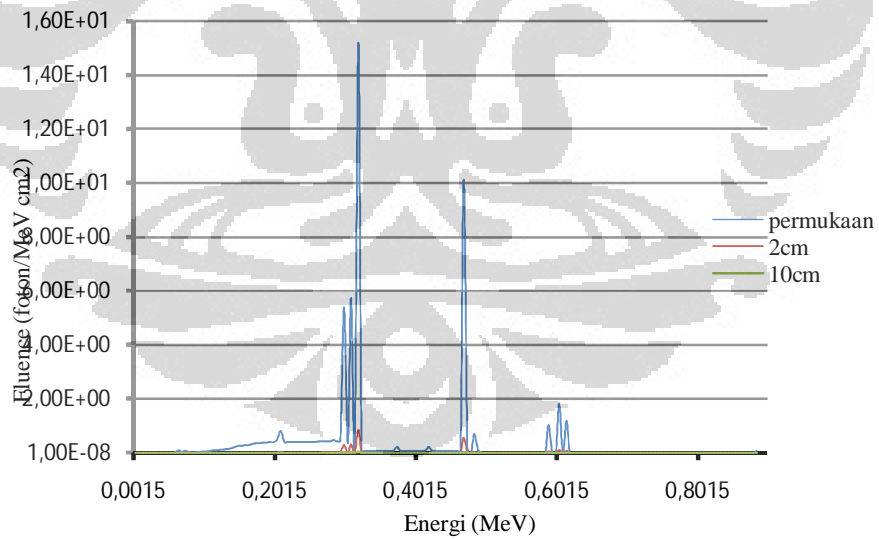
Konstanta laju dosis (Gy s ⁻¹ U ⁻¹)		
Udara	Vacum	Air
2,79.10 ⁻⁶	2,79.10 ⁻⁶	3,18.10 ⁻⁶



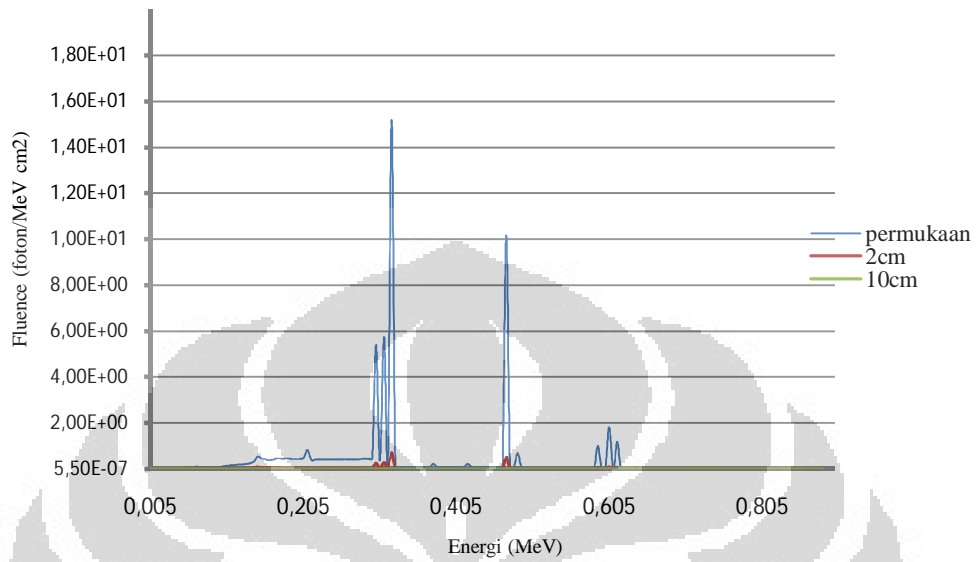
LAMPIRAN III



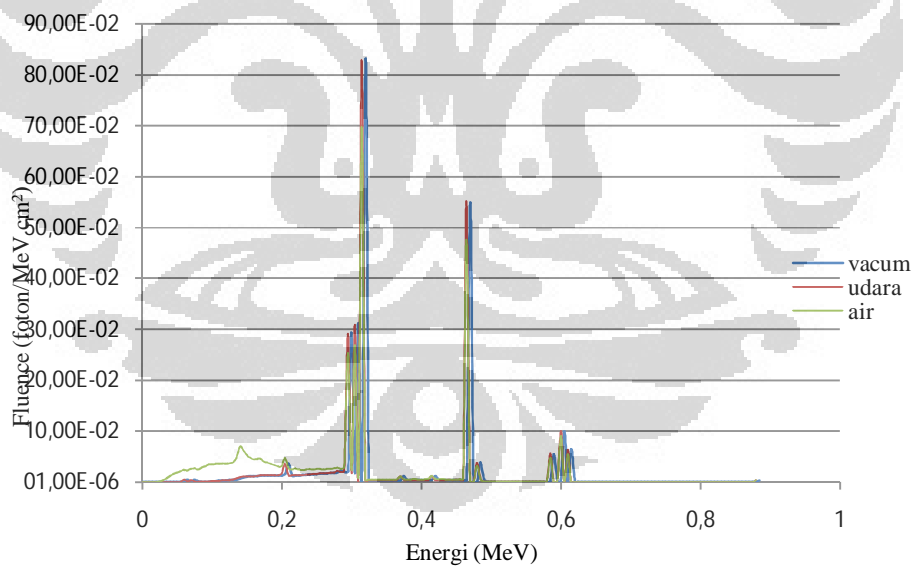
Gambar 4.1 *Fluence* di vacuum pada jarak yang berbeda



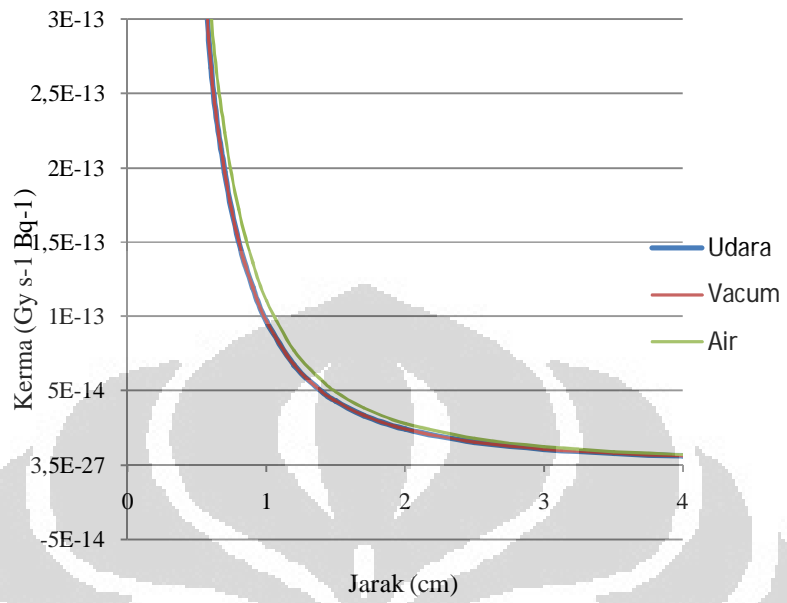
Gambar 4.2 *Fluence* di udara pada jarak yang berbeda



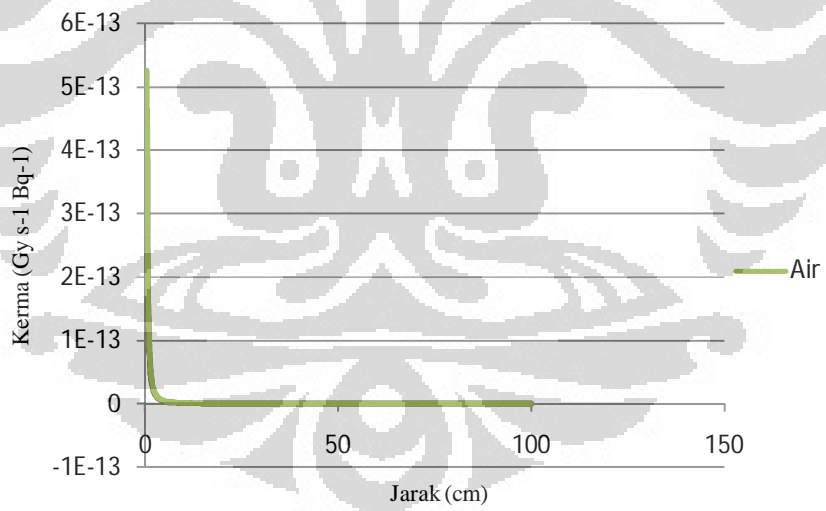
Gambar 4.3 *Fluence* di air pada jarak yang berbeda



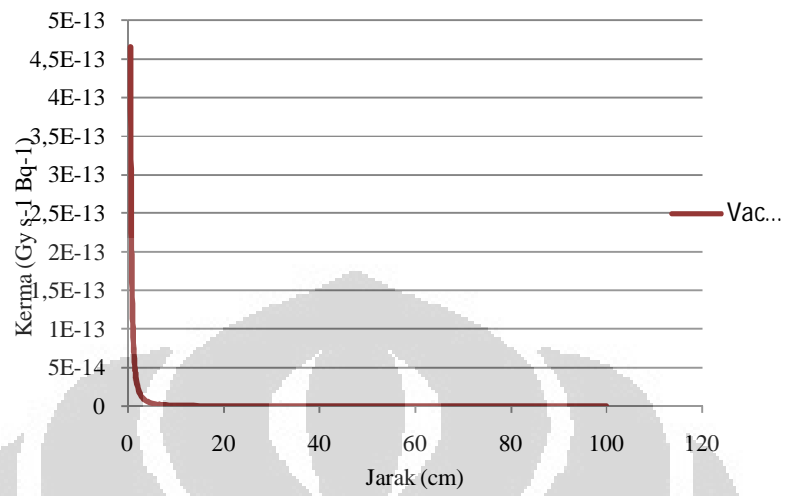
Gambar 4.4 *Fluence* pada jarak 2 cm dari sumber



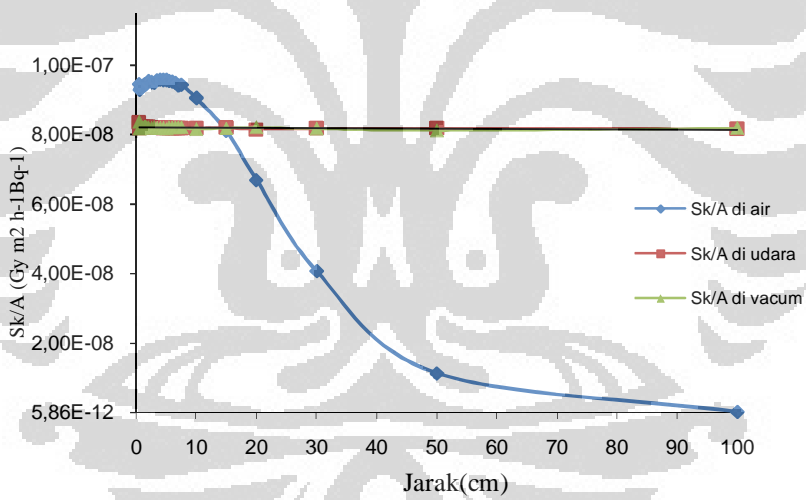
Gambar 4.5 Grafik Kerma di vacum dan air



Gambar 4.6 Grafik Kerma di air



Gambar 4.7 Grafik Kerma di vacuum



Gambar 4.8. Grafik Kuat Kerma per Aktivitas di vacuum, udara dan air

Hasil simulasi untuk fluence foton, kerma dan kuat kerma per aktivitas Ir-192 pada jarak 10 cm

Ir-192 Bare (tanpa filter)

Energy Bin (MeV)	Ei (MeV)	Fluence (foton/MeVcm ²)	Miu (Ei) X*10e2	E Bin (MeV)	Kerma (Gy s-1 Bq-1)	Sk/A Tot (U Bq-1)
0	0	0	***	0,005		
0,005	0,0025	6,73E-07	39,31	0,005	1,25E-19	4,50668E-12
0,01	0,0075	3,39E-05	4,742	0,005	2,28E-18	8,20557E-11
0,015	0,0125	4,12E-05	1,334	0,005	1,30E-18	4,68352E-11
0,02	0,0175	2,65E-06	0,5389	0,005	4,74E-20	1,70483E-12
0,025	0,0225	3,57E-06	0,241567	0,005	3,68E-20	1,32328E-12
0,03	0,0275	4,81E-06	0,1537	0,005	3,85E-20	1,38474E-12
0,035	0,0325	4,60E-06	0,104989	0,005	2,97E-20	1,06834E-12
0,04	0,0375	1,27E-05	0,06833	0,005	6,17E-20	2,22264E-12
0,045	0,0425	1,08E-05	0,049298	0,005	4,27E-20	1,53615E-12
0,05	0,0475	2,09E-05	0,04098	0,005	7,70E-20	2,77078E-12
0,055	0,0525	3,86E-05	0,035097	0,005	1,34E-19	4,84138E-12
0,06	0,0575	8,20E-05	0,03041	0,005	2,71E-19	9,76409E-12
0,065	0,0625	4,50E-03	0,027282	0,005	1,45E-17	5,22483E-10
0,07	0,0675	7,07E-04	0,025456	0,005	2,30E-18	8,27431E-11
0,075	0,0725	1,38E-03	0,024523	0,005	4,63E-18	1,66695E-10
0,08	0,0775	3,40E-04	0,02407	0,005	1,20E-18	4,32171E-11
0,085	0,0825	2,83E-06	0,023756	0,005	1,05E-20	3,77528E-13
0,09	0,0875	3,71E-06	0,023513	0,005	1,45E-20	5,2067E-13
0,095	0,0925	6,49E-06	0,023344	0,005	2,65E-20	9,55057E-13
0,1	0,0975	2,12E-06	0,02325	0,005	9,10E-21	3,27772E-13
0,105	0,1025	4,47E-06	0,023231	0,005	2,01E-20	7,2494E-13
0,11	0,1075	6,37E-06	0,023279	0,005	3,02E-20	1,0857E-12
0,115	0,1125	1,00E-05	0,023386	0,005	5,00E-20	1,79984E-12
0,12	0,1175	1,55E-05	0,02354	0,005	8,11E-20	2,91946E-12
0,125	0,1225	1,74E-05	0,023734	0,005	9,59E-20	3,45311E-12
0,13	0,1275	1,51E-05	0,023958	0,005	8,71E-20	3,13462E-12
0,135	0,1325	1,94E-05	0,024202	0,005	1,17E-19	4,22809E-12
0,14	0,1375	8,34E-05	0,024456	0,005	5,31E-19	1,91146E-11
0,145	0,1425	9,05E-05	0,024712	0,005	6,03E-19	2,17229E-11
0,15	0,1475	7,64E-05	0,02496	0,005	5,33E-19	1,91734E-11

0,155	0,1525	8,27E-05	0,025192	0,005	6,01E-19	2,16489E-11
0,16	0,1575	1,01E-04	0,025408	0,005	7,63E-19	2,74856E-11
0,165	0,1625	9,69E-05	0,025609	0,005	7,63E-19	2,74681E-11
0,17	0,1675	1,30E-04	0,025796	0,005	1,06E-18	3,83044E-11
0,175	0,1725	1,24E-04	0,025972	0,005	1,05E-18	3,78237E-11
0,18	0,1775	1,19E-04	0,026137	0,005	1,04E-18	3,76185E-11
0,185	0,1825	1,37E-04	0,026293	0,005	1,25E-18	4,48597E-11
0,19	0,1875	1,24E-04	0,026441	0,005	1,16E-18	4,19231E-11
0,195	0,1925	1,28E-04	0,026583	0,005	1,24E-18	4,45272E-11
0,2	0,1975	1,45E-04	0,02672	0,005	1,45E-18	5,2104E-11
0,205	0,2025	3,48E-04	0,026853	0,005	3,59E-18	1,29091E-10
0,21	0,2075	1,60E-03	0,026983	0,005	1,70E-17	6,1194E-10
0,215	0,2125	1,54E-04	0,027109	0,005	1,68E-18	6,04493E-11
0,22	0,2175	1,35E-04	0,027232	0,005	1,52E-18	5,45641E-11
0,225	0,2225	1,40E-04	0,027351	0,005	1,62E-18	5,82189E-11
0,23	0,2275	1,67E-04	0,027466	0,005	1,97E-18	7,10619E-11
0,235	0,2325	1,44E-04	0,027578	0,005	1,75E-18	6,28712E-11
0,24	0,2375	1,47E-04	0,027687	0,005	1,83E-18	6,58652E-11
0,245	0,2425	1,46E-04	0,027792	0,005	1,86E-18	6,70021E-11
0,25	0,2475	1,43E-04	0,027894	0,005	1,87E-18	6,73166E-11
0,255	0,2525	1,53E-04	0,027992	0,005	2,04E-18	7,34935E-11
0,26	0,2575	1,55E-04	0,028087	0,005	2,12E-18	7,6188E-11
0,265	0,2625	1,47E-04	0,028178	0,005	2,06E-18	7,40388E-11
0,27	0,2675	1,74E-04	0,028266	0,005	2,49E-18	8,95432E-11
0,275	0,2725	1,63E-04	0,02835	0,005	2,39E-18	8,59618E-11
0,28	0,2775	1,52E-04	0,028431	0,005	2,27E-18	8,16065E-11
0,285	0,2825	3,00E-04	0,028508	0,005	4,57E-18	1,64466E-10
0,29	0,2875	1,74E-04	0,028582	0,005	2,71E-18	9,7652E-11
0,295	0,2925	2,39E-04	0,028653	0,005	3,79E-18	1,3643E-10
0,3	0,2975	1,61E-02	0,02872	0,005	2,60E-16	9,34427E-09
0,305	0,3025	1,31E-04	0,028784	0,005	2,15E-18	7,74843E-11
0,31	0,3075	1,69E-02	0,028844	0,005	2,83E-16	1,01896E-08
0,315	0,3125	9,17E-05	0,028901	0,005	1,57E-18	5,64025E-11
0,32	0,3175	4,69E-02	0,028955	0,005	8,17E-16	2,94045E-08
0,325	0,3225	2,88E-05	0,029006	0,005	5,10E-19	1,83703E-11
0,33	0,3275	3,55E-05	0,029055	0,005	6,40E-19	2,30432E-11
0,335	0,3325	3,29E-05	0,0291	0,005	6,03E-19	2,17174E-11
0,34	0,3375	3,34E-05	0,029143	0,005	6,22E-19	2,23914E-11

0,345	0,3425	3,24E-05	0,029183	0,005	6,12E-19	2,20394E-11
0,35	0,3475	3,49E-05	0,029221	0,005	6,72E-19	2,41753E-11
0,355	0,3525	3,26E-05	0,029257	0,005	6,37E-19	2,29367E-11
0,36	0,3575	3,30E-05	0,02929	0,005	6,55E-19	2,35668E-11
0,365	0,3625	3,20E-05	0,029321	0,005	6,44E-19	2,31831E-11
0,37	0,3675	2,51E-05	0,02935	0,005	5,13E-19	1,8455E-11
0,375	0,3725	4,58E-04	0,029378	0,005	9,48E-18	3,41214E-10
0,38	0,3775	3,11E-05	0,029403	0,005	6,52E-19	2,3484E-11
0,385	0,3825	3,44E-05	0,029427	0,005	7,32E-19	2,63454E-11
0,39	0,3875	3,33E-05	0,029449	0,005	7,18E-19	2,58625E-11
0,395	0,3925	3,50E-05	0,02947	0,005	7,65E-19	2,75547E-11
0,4	0,3975	3,09E-05	0,02949	0,005	6,85E-19	2,46574E-11
0,405	0,4025	2,52E-05	0,029508	0,005	5,67E-19	2,04187E-11
0,41	0,4075	3,07E-05	0,029526	0,005	7,00E-19	2,52016E-11
0,415	0,4125	3,02E-05	0,029542	0,005	6,96E-19	2,50431E-11
0,42	0,4175	4,13E-04	0,029556	0,005	9,64E-18	3,47011E-10
0,425	0,4225	2,71E-05	0,02957	0,005	6,40E-19	2,30276E-11
0,43	0,4275	2,36E-05	0,029583	0,005	5,64E-19	2,03112E-11
0,435	0,4325	2,55E-05	0,029595	0,005	6,18E-19	2,22489E-11
0,44	0,4375	3,66E-05	0,029605	0,005	8,98E-19	3,23105E-11
0,445	0,4425	2,90E-05	0,029615	0,005	7,19E-19	2,58862E-11
0,45	0,4475	2,66E-05	0,029623	0,005	6,66E-19	2,39822E-11
0,455	0,4525	2,81E-05	0,029631	0,005	7,14E-19	2,56999E-11
0,46	0,4575	2,87E-05	0,029638	0,005	7,36E-19	2,64887E-11
0,465	0,4625	2,85E-05	0,029643	0,005	7,39E-19	2,65965E-11
0,47	0,4675	2,95E-02	0,029648	0,005	7,74E-16	2,78707E-08
0,475	0,4725	3,18E-06	0,029652	0,005	8,44E-20	3,03874E-12
0,48	0,4775	8,53E-06	0,029655	0,005	2,29E-19	8,22853E-12
0,485	0,4825	1,94E-03	0,029658	0,005	5,25E-17	1,89162E-09
0,49	0,4875	2,75E-04	0,029659	0,005	7,52E-18	2,70541E-10
0,495	0,4925	4,78E-06	0,02966	0,005	1,32E-19	4,7528E-12
0,5	0,4975	9,02E-06	0,02966	0,005	2,52E-19	9,06821E-12
0,505	0,5025	3,18E-06	0,029659	0,005	8,98E-20	3,23245E-12
0,51	0,5075	3,71E-06	0,029658	0,005	1,06E-19	3,80905E-12
0,515	0,5125	4,24E-06	0,029656	0,005	1,22E-19	4,39519E-12
0,52	0,5175	3,76E-06	0,029653	0,005	1,09E-19	3,93157E-12
0,525	0,5225	6,10E-06	0,02965	0,005	1,79E-19	6,43607E-12
0,53	0,5275	4,52E-06	0,029646	0,005	1,34E-19	4,81637E-12

0,535	0,5325	7,43E-06	0,029641	0,005	2,22E-19	7,98773E-12
0,54	0,5375	8,49E-06	0,029636	0,005	2,56E-19	9,21398E-12
0,545	0,5425	3,73E-06	0,02963	0,005	1,13E-19	4,08431E-12
0,55	0,5475	9,55E-06	0,029623	0,005	2,93E-19	1,0554E-11
0,555	0,5525	8,50E-06	0,029616	0,005	2,63E-19	9,4783E-12
0,56	0,5575	5,31E-06	0,029609	0,005	1,66E-19	5,96688E-12
0,565	0,5625	6,37E-06	0,0296	0,005	2,01E-19	7,22249E-12
0,57	0,5675	5,31E-06	0,029592	0,005	1,69E-19	6,07047E-12
0,575	0,5725	6,54E-06	0,029583	0,005	2,09E-19	7,5415E-12
0,58	0,5775	6,37E-06	0,029573	0,005	2,06E-19	7,40939E-12
0,585	0,5825	4,78E-06	0,029563	0,005	1,56E-19	5,60294E-12
0,59	0,5875	2,82E-03	0,029552	0,005	9,26E-17	3,33263E-09
0,595	0,5925	7,96E-06	0,029541	0,005	2,64E-19	9,49123E-12
0,6	0,5975	1,59E-06	0,02953	0,005	5,32E-20	1,91401E-12
0,605	0,6025	5,19E-03	0,029518	0,005	1,75E-16	6,28339E-09
0,61	0,6075	2,12E-06	0,029506	0,005	7,20E-20	2,59179E-12
0,615	0,6125	3,31E-03	0,029493	0,005	1,13E-16	4,07925E-09
0,62	0,6175	0,00E+00	0,02948	0,005	0,00E+00	0
0,625	0,6225	0,00E+00	0,029467	0,005	0,00E+00	0
0,63	0,6275	0,00E+00	0,029453	0,005	0,00E+00	0
0,635	0,6325	0,00E+00	0,029439	0,005	0,00E+00	0
0,64	0,6375	0,00E+00	0,029424	0,005	0,00E+00	0
0,645	0,6425	0,00E+00	0,02941	0,005	0,00E+00	0
0,65	0,6475	0,00E+00	0,029394	0,005	0,00E+00	0
0,655	0,6525	0,00E+00	0,029379	0,005	0,00E+00	0
0,66	0,6575	0,00E+00	0,029363	0,005	0,00E+00	0
0,665	0,6625	0,00E+00	0,029347	0,005	0,00E+00	0
0,67	0,6675	0,00E+00	0,02933	0,005	0,00E+00	0
0,675	0,6725	0,00E+00	0,029314	0,005	0,00E+00	0
0,68	0,6775	0,00E+00	0,029297	0,005	0,00E+00	0
0,685	0,6825	0,00E+00	0,029279	0,005	0,00E+00	0
0,69	0,6875	0,00E+00	0,029262	0,005	0,00E+00	0
0,695	0,6925	0,00E+00	0,029244	0,005	0,00E+00	0
0,7	0,6975	0,00E+00	0,029226	0,005	0,00E+00	0
0,705	0,7025	0,00E+00	0,029207	0,005	0,00E+00	0
0,71	0,7075	0,00E+00	0,029189	0,005	0,00E+00	0
0,715	0,7125	0,00E+00	0,02917	0,005	0,00E+00	0
0,72	0,7175	0,00E+00	0,029151	0,005	0,00E+00	0

0,725	0,7225	0,00E+00	0,029131	0,005	0,00E+00	0
0,73	0,7275	0,00E+00	0,029112	0,005	0,00E+00	0
0,735	0,7325	0,00E+00	0,029092	0,005	0,00E+00	0
0,74	0,7375	0,00E+00	0,029072	0,005	0,00E+00	0
0,745	0,7425	0,00E+00	0,029052	0,005	0,00E+00	0
0,75	0,7475	0,00E+00	0,029032	0,005	0,00E+00	0
0,755	0,7525	0,00E+00	0,029011	0,005	0,00E+00	0
0,76	0,7575	5,31E-07	0,02899	0,005	2,21E-20	7,93969E-13
0,765	0,7625	0,00E+00	0,02897	0,005	0,00E+00	0
0,77	0,7675	0,00E+00	0,028949	0,005	0,00E+00	0
0,775	0,7725	0,00E+00	0,028927	0,005	0,00E+00	0
0,78	0,7775	0,00E+00	0,028906	0,005	0,00E+00	0
0,785	0,7825	0,00E+00	0,028885	0,005	0,00E+00	0
0,79	0,7875	0,00E+00	0,028863	0,005	0,00E+00	0
0,795	0,7925	5,31E-07	0,028842	0,005	2,30E-20	8,26393E-13
0,8	0,7975	0,00E+00	0,02882	0,005	0,00E+00	0
0,805	0,8025	0,00E+00	0,028798	0,005	0,00E+00	0
0,81	0,8075	0,00E+00	0,028776	0,005	0,00E+00	0
0,815	0,8125	0,00E+00	0,028754	0,005	0,00E+00	0
0,82	0,8175	0,00E+00	0,028732	0,005	0,00E+00	0
0,825	0,8225	0,00E+00	0,02871	0,005	0,00E+00	0
0,83	0,8275	0,00E+00	0,028688	0,005	0,00E+00	0
0,835	0,8325	0,00E+00	0,028665	0,005	0,00E+00	0
0,84	0,8375	5,31E-07	0,028643	0,005	2,41E-20	8,67296E-13
0,845	0,8425	0,00E+00	0,02862	0,005	0,00E+00	0
0,85	0,8475	0,00E+00	0,028598	0,005	0,00E+00	0
0,855	0,8525	0,00E+00	0,028575	0,005	0,00E+00	0
0,86	0,8575	0,00E+00	0,028552	0,005	0,00E+00	0
0,865	0,8625	0,00E+00	0,028529	0,005	0,00E+00	0
0,87	0,8675	0,00E+00	0,028506	0,005	0,00E+00	0
0,875	0,8725	0,00E+00	0,028483	0,005	0,00E+00	0
0,88	0,8775	0,00E+00	0,02846	0,005	0,00E+00	0
0,885	0,8825	1,76E-04	0,028437	0,005	8,35E-18	3,00622E-10
Total	0,8925	0,138622			2,73E-15	9,81398E-08

Ir-192 menggunakan Cladding (filter)

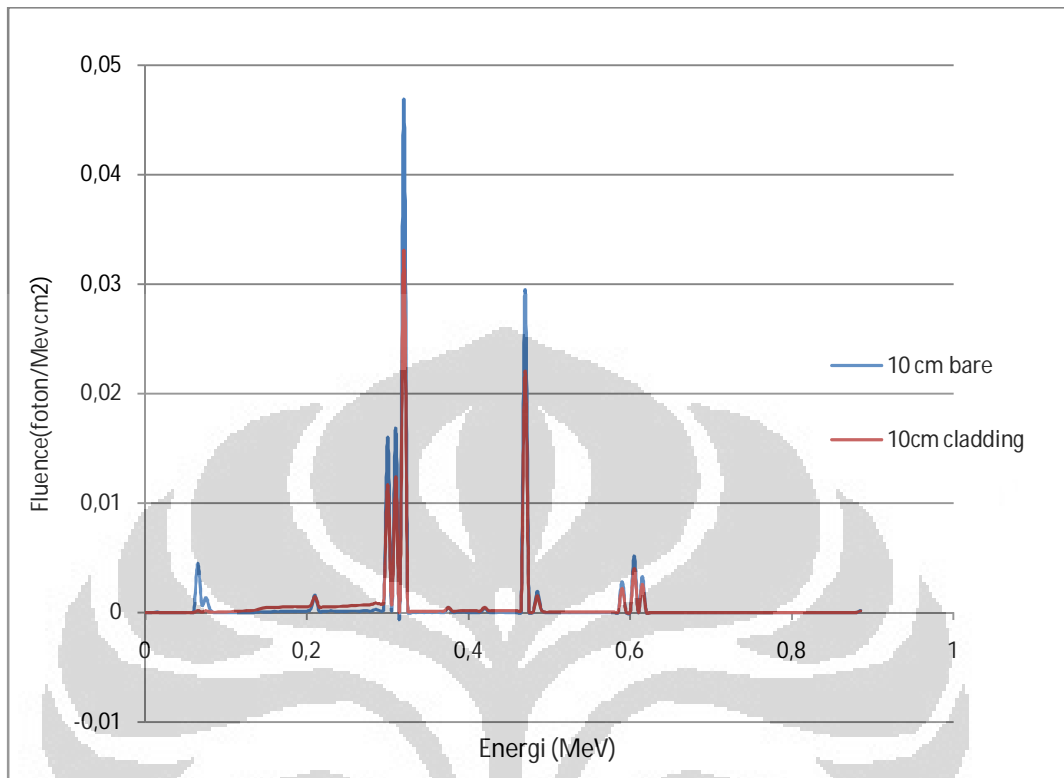
Energy Bin (MeV)	Ei (MeV)	Fluence (foton/MeV cm ²)	Miu (Ei) X*10e2	E Bin (MeV)	Kerma (Gy s-1 Bq-1)	Sk/A Tot (U Bq-1)
0	0	0	***	0,005		
0,005	0,0025	1,63E-07	39,31	0,005	3,04E-20	1,09E-12
0,01	0,0075	7,57E-07	4,742	0,005	5,10E-20	1,83E-12
0,015	0,0125	2,82E-07	1,334	0,005	8,90E-21	3,2E-13
0,02	0,0175	6,19E-07	0,5389	0,005	1,11E-20	3,98E-13
0,025	0,0225	2,61E-07	0,241567	0,005	2,69E-21	9,67E-14
0,03	0,0275	5,65E-07	0,1537	0,005	4,52E-21	1,63E-13
0,035	0,0325	4,18E-07	0,104989	0,005	2,70E-21	9,73E-14
0,04	0,0375	2,81E-07	0,06833	0,005	1,36E-21	4,9E-14
0,045	0,0425	5,11E-07	0,049298	0,005	2,03E-21	7,29E-14
0,05	0,0475	1,22E-06	0,04098	0,005	4,49E-21	1,62E-13
0,055	0,0525	3,88E-06	0,035097	0,005	1,35E-20	4,87E-13
0,06	0,0575	8,25E-06	0,03041	0,005	2,73E-20	9,83E-13
0,065	0,0625	1,70E-04	0,027282	0,005	5,49E-19	1,98E-11
0,07	0,0675	4,03E-05	0,025456	0,005	1,31E-19	4,72E-12
0,075	0,0725	1,45E-04	0,024523	0,005	4,89E-19	1,76E-11
0,08	0,0775	4,75E-05	0,02407	0,005	1,68E-19	6,04E-12
0,085	0,0825	1,78E-05	0,023756	0,005	6,62E-20	2,38E-12
0,09	0,0875	2,74E-05	0,023513	0,005	1,07E-19	3,84E-12
0,095	0,0925	4,70E-05	0,023344	0,005	1,92E-19	6,92E-12
0,1	0,0975	6,45E-05	0,02325	0,005	2,77E-19	9,96E-12
0,105	0,1025	7,73E-05	0,023231	0,005	3,48E-19	1,25E-11
0,11	0,1075	9,64E-05	0,023279	0,005	4,56E-19	1,64E-11
0,115	0,1125	1,11E-04	0,023386	0,005	5,54E-19	2E-11
0,12	0,1175	1,30E-04	0,02354	0,005	6,80E-19	2,45E-11
0,125	0,1225	1,43E-04	0,023734	0,005	7,85E-19	2,83E-11
0,13	0,1275	1,57E-04	0,023958	0,005	9,05E-19	3,26E-11
0,135	0,1325	1,93E-04	0,024202	0,005	1,17E-18	4,21E-11
0,14	0,1375	2,85E-04	0,024456	0,005	1,81E-18	6,52E-11
0,145	0,1425	3,89E-04	0,024712	0,005	2,59E-18	9,34E-11
0,15	0,1475	4,61E-04	0,02496	0,005	3,21E-18	1,16E-10
0,155	0,1525	4,69E-04	0,025192	0,005	3,41E-18	1,23E-10
0,16	0,1575	4,57E-04	0,025408	0,005	3,46E-18	1,25E-10
0,165	0,1625	4,69E-04	0,025609	0,005	3,69E-18	1,33E-10

0,17	0,1675	4,97E-04	0,025796	0,005	4,06E-18	1,46E-10
0,175	0,1725	4,97E-04	0,025972	0,005	4,21E-18	1,52E-10
0,18	0,1775	4,97E-04	0,026137	0,005	4,36E-18	1,57E-10
0,185	0,1825	5,41E-04	0,026293	0,005	4,91E-18	1,77E-10
0,19	0,1875	5,27E-04	0,026441	0,005	4,94E-18	1,78E-10
0,195	0,1925	5,19E-04	0,026583	0,005	5,03E-18	1,81E-10
0,2	0,1975	5,27E-04	0,02672	0,005	5,26E-18	1,9E-10
0,205	0,2025	6,60E-04	0,026853	0,005	6,80E-18	2,45E-10
0,21	0,2075	1,44E-03	0,026983	0,005	1,53E-17	5,51E-10
0,215	0,2125	4,96E-04	0,027109	0,005	5,41E-18	1,95E-10
0,22	0,2175	4,96E-04	0,027232	0,005	5,56E-18	2E-10
0,225	0,2225	5,04E-04	0,027351	0,005	5,81E-18	2,09E-10
0,23	0,2275	5,11E-04	0,027466	0,005	6,04E-18	2,18E-10
0,235	0,2325	5,32E-04	0,027578	0,005	6,46E-18	2,33E-10
0,24	0,2375	5,44E-04	0,027687	0,005	6,77E-18	2,44E-10
0,245	0,2425	5,68E-04	0,027792	0,005	7,24E-18	2,61E-10
0,25	0,2475	5,80E-04	0,027894	0,005	7,58E-18	2,73E-10
0,255	0,2525	6,07E-04	0,027992	0,005	8,12E-18	2,92E-10
0,26	0,2575	6,27E-04	0,028087	0,005	8,59E-18	3,09E-10
0,265	0,2625	6,60E-04	0,028178	0,005	9,24E-18	3,33E-10
0,27	0,2675	6,85E-04	0,028266	0,005	9,80E-18	3,53E-10
0,275	0,2725	7,11E-04	0,02835	0,005	1,04E-17	3,74E-10
0,28	0,2775	7,29E-04	0,028431	0,005	1,09E-17	3,92E-10
0,285	0,2825	8,48E-04	0,028508	0,005	1,29E-17	4,66E-10
0,29	0,2875	7,84E-04	0,028582	0,005	1,22E-17	4,39E-10
0,295	0,2925	8,51E-04	0,028653	0,005	1,35E-17	4,86E-10
0,3	0,2975	1,17E-02	0,02872	0,005	1,89E-16	6,79E-09
0,305	0,3025	6,66E-04	0,028784	0,005	1,10E-17	3,95E-10
0,31	0,3075	1,24E-02	0,028844	0,005	2,08E-16	7,49E-09
0,315	0,3125	4,99E-04	0,028901	0,005	8,53E-18	3,07E-10
0,32	0,3175	3,31E-02	0,028955	0,005	5,76E-16	2,07E-08
0,325	0,3225	1,11E-04	0,029006	0,005	1,96E-18	7,06E-11
0,33	0,3275	1,20E-04	0,029055	0,005	2,16E-18	7,76E-11
0,335	0,3325	1,19E-04	0,0291	0,005	2,19E-18	7,87E-11
0,34	0,3375	1,18E-04	0,029143	0,005	2,19E-18	7,9E-11
0,345	0,3425	1,24E-04	0,029183	0,005	2,34E-18	8,44E-11
0,35	0,3475	1,20E-04	0,029221	0,005	2,31E-18	8,33E-11
0,355	0,3525	1,29E-04	0,029257	0,005	2,52E-18	9,06E-11

0,36	0,3575	1,29E-04	0,02929	0,005	2,56E-18	9,2E-11
0,365	0,3625	1,31E-04	0,029321	0,005	2,63E-18	9,45E-11
0,37	0,3675	1,30E-04	0,02935	0,005	2,65E-18	9,55E-11
0,375	0,3725	4,49E-04	0,029378	0,005	9,29E-18	3,34E-10
0,38	0,3775	1,30E-04	0,029403	0,005	2,73E-18	9,84E-11
0,385	0,3825	1,33E-04	0,029427	0,005	2,84E-18	1,02E-10
0,39	0,3875	1,37E-04	0,029449	0,005	2,96E-18	1,07E-10
0,395	0,3925	1,39E-04	0,02947	0,005	3,03E-18	1,09E-10
0,4	0,3975	1,41E-04	0,02949	0,005	3,12E-18	1,12E-10
0,405	0,4025	1,45E-04	0,029508	0,005	3,25E-18	1,17E-10
0,41	0,4075	1,48E-04	0,029526	0,005	3,36E-18	1,21E-10
0,415	0,4125	1,44E-04	0,029542	0,005	3,32E-18	1,19E-10
0,42	0,4175	4,61E-04	0,029556	0,005	1,08E-17	3,88E-10
0,425	0,4225	1,57E-04	0,02957	0,005	3,72E-18	1,34E-10
0,43	0,4275	1,57E-04	0,029583	0,005	3,75E-18	1,35E-10
0,435	0,4325	1,56E-04	0,029595	0,005	3,77E-18	1,36E-10
0,44	0,4375	1,58E-04	0,029605	0,005	3,86E-18	1,39E-10
0,445	0,4425	1,66E-04	0,029615	0,005	4,11E-18	1,48E-10
0,45	0,4475	1,63E-04	0,029623	0,005	4,08E-18	1,47E-10
0,455	0,4525	1,67E-04	0,029631	0,005	4,23E-18	1,52E-10
0,46	0,4575	1,66E-04	0,029638	0,005	4,27E-18	1,54E-10
0,465	0,4625	1,62E-04	0,029643	0,005	4,20E-18	1,51E-10
0,47	0,4675	2,21E-02	0,029648	0,005	5,79E-16	2,08E-08
0,475	0,4725	3,72E-05	0,029652	0,005	9,87E-19	3,55E-11
0,48	0,4775	3,45E-05	0,029655	0,005	9,24E-19	3,32E-11
0,485	0,4825	1,52E-03	0,029658	0,005	4,12E-17	1,48E-09
0,49	0,4875	2,21E-04	0,029659	0,005	6,05E-18	2,18E-10
0,495	0,4925	2,72E-05	0,02966	0,005	7,53E-19	2,71E-11
0,5	0,4975	2,87E-05	0,02966	0,005	8,02E-19	2,89E-11
0,505	0,5025	2,70E-05	0,029659	0,005	7,63E-19	2,75E-11
0,51	0,5075	2,81E-05	0,029658	0,005	7,99E-19	2,88E-11
0,515	0,5125	2,71E-05	0,029656	0,005	7,80E-19	2,81E-11
0,52	0,5175	2,83E-05	0,029653	0,005	8,22E-19	2,96E-11
0,525	0,5225	2,89E-05	0,02965	0,005	8,47E-19	3,05E-11
0,53	0,5275	2,90E-05	0,029646	0,005	8,57E-19	3,09E-11
0,535	0,5325	2,81E-05	0,029641	0,005	8,39E-19	3,02E-11
0,54	0,5375	2,91E-05	0,029636	0,005	8,76E-19	3,15E-11
0,545	0,5425	3,25E-05	0,02963	0,005	9,88E-19	3,56E-11

0,55	0,5475	2,90E-05	0,029623	0,005	8,89E-19	3,2E-11
0,555	0,5525	3,22E-05	0,029616	0,005	9,98E-19	3,59E-11
0,56	0,5575	3,19E-05	0,029609	0,005	9,95E-19	3,58E-11
0,565	0,5625	3,47E-05	0,0296	0,005	1,09E-18	3,94E-11
0,57	0,5675	3,22E-05	0,029592	0,005	1,02E-18	3,68E-11
0,575	0,5725	3,11E-05	0,029583	0,005	9,97E-19	3,59E-11
0,58	0,5775	3,08E-05	0,029573	0,005	9,96E-19	3,59E-11
0,585	0,5825	3,25E-05	0,029563	0,005	1,06E-18	3,82E-11
0,59	0,5875	2,18E-03	0,029552	0,005	7,16E-17	2,58E-09
0,595	0,5925	2,48E-05	0,029541	0,005	8,22E-19	2,96E-11
0,6	0,5975	2,40E-05	0,02953	0,005	8,03E-19	2,89E-11
0,605	0,6025	4,01E-03	0,029518	0,005	1,35E-16	4,85E-09
0,61	0,6075	8,57E-06	0,029506	0,005	2,91E-19	1,05E-11
0,615	0,6125	2,59E-03	0,029493	0,005	8,84E-17	3,18E-09
0,62	0,6175	2,75E-07	0,02948	0,005	9,49E-21	3,41E-13
0,625	0,6225	1,91E-07	0,029467	0,005	6,62E-21	2,38E-13
0,63	0,6275	5,77E-07	0,029453	0,005	2,02E-20	7,27E-13
0,635	0,6325	1,39E-07	0,029439	0,005	4,90E-21	1,76E-13
0,64	0,6375	6,82E-08	0,029424	0,005	2,42E-21	8,71E-14
0,645	0,6425	2,44E-07	0,02941	0,005	8,72E-21	3,14E-13
0,65	0,6475	1,56E-07	0,029394	0,005	5,63E-21	2,03E-13
0,655	0,6525	3,08E-07	0,029379	0,005	1,12E-20	4,03E-13
0,66	0,6575	2,98E-08	0,029363	0,005	1,09E-21	3,93E-14
0,665	0,6625	4,09E-07	0,029347	0,005	1,51E-20	5,42E-13
0,67	0,6675	4,43E-07	0,02933	0,005	1,64E-20	5,91E-13
0,675	0,6725	2,02E-07	0,029314	0,005	7,54E-21	2,72E-13
0,68	0,6775	8,93E-08	0,029297	0,005	3,36E-21	1,21E-13
0,685	0,6825	1,50E-07	0,029279	0,005	5,68E-21	2,04E-13
0,69	0,6875	1,29E-07	0,029262	0,005	4,91E-21	1,77E-13
0,695	0,6925	5,08E-08	0,029244	0,005	1,95E-21	7,01E-14
0,7	0,6975	8,63E-08	0,029226	0,005	3,33E-21	1,2E-13
0,705	0,7025	3,83E-07	0,029207	0,005	1,49E-20	5,35E-13
0,71	0,7075	1,19E-07	0,029189	0,005	4,66E-21	1,68E-13
0,715	0,7125	2,30E-07	0,02917	0,005	9,03E-21	3,25E-13
0,72	0,7175	1,55E-07	0,029151	0,005	6,15E-21	2,21E-13
0,725	0,7225	2,94E-07	0,029131	0,005	1,17E-20	4,21E-13
0,73	0,7275	2,89E-07	0,029112	0,005	1,16E-20	4,17E-13
0,735	0,7325	2,56E-07	0,029092	0,005	1,03E-20	3,72E-13

0,74	0,7375	2,35E-07	0,029072	0,005	9,52E-21	3,43E-13
0,745	0,7425	1,52E-07	0,029052	0,005	6,20E-21	2,23E-13
0,75	0,7475	3,44E-07	0,029032	0,005	1,41E-20	5,09E-13
0,755	0,7525	2,31E-07	0,029011	0,005	9,53E-21	3,43E-13
0,76	0,7575	1,55E-07	0,02899	0,005	6,43E-21	2,31E-13
0,765	0,7625	2,91E-07	0,02897	0,005	1,22E-20	4,39E-13
0,77	0,7675	7,44E-08	0,028949	0,005	3,13E-21	1,13E-13
0,775	0,7725	3,74E-07	0,028927	0,005	1,58E-20	5,7E-13
0,78	0,7775	8,20E-08	0,028906	0,005	3,49E-21	1,25E-13
0,785	0,7825	2,17E-07	0,028885	0,005	9,29E-21	3,35E-13
0,79	0,7875	7,57E-08	0,028863	0,005	3,26E-21	1,17E-13
0,795	0,7925	2,88E-07	0,028842	0,005	1,25E-20	4,49E-13
0,8	0,7975	4,62E-08	0,02882	0,005	2,01E-21	7,24E-14
0,805	0,8025	9,33E-08	0,028798	0,005	4,08E-21	1,47E-13
0,81	0,8075	5,29E-07	0,028776	0,005	2,33E-20	8,38E-13
0,815	0,8125	1,67E-07	0,028754	0,005	7,37E-21	2,65E-13
0,82	0,8175	8,28E-08	0,028732	0,005	3,68E-21	1,33E-13
0,825	0,8225	4,91E-07	0,02871	0,005	2,19E-20	7,9E-13
0,83	0,8275	0,00E+00	0,028688	0,005	0,00E+00	0
0,835	0,8325	2,07E-07	0,028665	0,005	9,36E-21	3,37E-13
0,84	0,8375	2,52E-07	0,028643	0,005	1,14E-20	4,11E-13
0,845	0,8425	1,63E-07	0,02862	0,005	7,44E-21	2,68E-13
0,85	0,8475	2,93E-07	0,028598	0,005	1,34E-20	4,84E-13
0,855	0,8525	7,15E-07	0,028575	0,005	3,29E-20	1,19E-12
0,86	0,8575	2,59E-07	0,028552	0,005	1,20E-20	4,32E-13
0,865	0,8625	8,54E-08	0,028529	0,005	3,98E-21	1,43E-13
0,87	0,8675	4,80E-07	0,028506	0,005	2,25E-20	8,08E-13
0,875	0,8725	2,78E-07	0,028483	0,005	1,31E-20	4,7E-13
0,88	0,8775	3,21E-07	0,02846	0,005	1,52E-20	5,47E-13
0,885	0,8825	1,45E-04	0,028437	0,005	6,88E-18	2,48E-10
Total	0,8925	0,116936			2,27E-15	8,18E-08



Perbandingan Kerma dan Kuat kerma per aktivitas antara sumber Ir-192 *bare* (tanpa *cladding*) dan Ir-192 menggunakan *cladding* pada jarak 10 cm hanya sedikit, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *cladding* dengan tebal sekitar 0,0125 cm ini tidak banyak berpengaruh terhadap intensitas fluence foton. Dengan demikian, dalam eksperimen aktivitas yang dibutuhkan adalah aktivitas pada sumber, bukan *apparent activity*.